

Acta Academiae Scientiarum Taurinensis

Atti
della
Accademia delle Scienze di Torino

Classe di Scienze
Fisiche, Matematiche e Naturali

Volume 154



ACCADÉMIA DELLE SCIENZE DI TORINO
2020

AVVERTENZA

Con il vol. 154 terminano gli «Atti dell'Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali»; la rivista continua con una nuova numerazione e con il titolo «Atti dell'Accademia delle Scienze di Torino».

ACCADEMIA DELLE SCIENZE DI TORINO

Via Accademia delle Scienze, 6
10123 Torino, Italia

Ufficio: Via Maria Vittoria, 3
10123 Torino, Italia
+39-011-562.00.47
info@accademiadellescienze.it

Comitato editoriale: Mario Alberto Chiorino, Franco Pastrone,
Alberto Piazza.

Tutte le note che appaiono negli «Atti dell'Accademia delle Scienze di Torino» sono disponibili in rete ad accesso aperto e sono valutate dal Comitato editoriale e da *referees* anonimi attraverso un sistema di *peer review*. Sono escluse dalla valutazione soltanto le note che compaiono sotto la dicitura «Biografie e Commemorazioni».

I lavori pubblicati sono classificati in base al seguente elenco di materie: Biologia animale e dell'uomo, Biologia vegetale, Chimica, Fisica, Geoscienze, Matematica, Scienza dell'informazione, Scienza dell'ingegneria, Scienze dell'ambiente, Scienze e ingegneria dei materiali, Storia delle scienze.

Per acquistare fascicoli o abbonarsi scrivere a:
info@libreriaoolp.it oppure biblioteca@accademiadellescienze.it
Per contattare la Redazione rivolgersi a:
pubblicazioni@accademiadellescienze.it

I lettori che desiderino informarsi sulle pubblicazioni e sull'insieme delle attività dell'Accademia delle Scienze di Torino possono consultare il sito www.accademiadellescienze.it

ISSN: 0001-4419

Acta Academiae Scientiarum Taurinensis

Atti
della
Accademia delle Scienze di Torino

Classe di Scienze
Fisiche, Matematiche e Naturali

Volume 154



ACCADEMIA DELLE SCIENZE DI TORINO
2020

ADUNANZA SOLENNE

RELAZIONE INAUGURALE DEL PRESIDENTE

PROLUSIONE

Relazione

del Presidente Massimo MORI
sull'attività accademica relativa all'a.a. 2018-2019
tenuta il 18 novembre 2019

Illustri Ospiti, cari Consoci, Signore e Signori,

per la seconda volta ho l'onore e la soddisfazione di inaugurare l'Anno Accademico come Presidente di questa Istituzione. Per l'Accademia l'Inaugurazione dell'Anno Accademico rappresenta un importante appuntamento annuale non solo con i propri Soci, ma anche con le Autorità, le istituzioni culturali e gli Enti istituzionali. A tutti gli intervenuti, sempre così numerosi, rivolgo pertanto un caloroso saluto e un sentito ringraziamento. Ai Soci, in particolare, esprimo la mia gratitudine per il prezioso contributo che hanno dato, partecipando alle attività dell'Accademia e soccorrendo il Consiglio di Presidenza con proposte e suggerimenti. Ai nuovi Soci, eletti nel corso del passato anno accademico, rivolgo il più cordiale benvenuto, con la fiducia che il loro apporto sarà essenziale per le future iniziative dell'Accademia. Nella Classe di Scienze fisiche sono stati eletti Socio nazionale residente Simona Ronchi Della Rocca e Soci nazionali non residenti Elena Cattaneo e Carlo Doglioni, mentre nella Classe di Scienze morali sono stati eletti Soci nazionali residenti Bruno Contini, Mario Dogliani, Giovanni Filoramo e Alessandro Roccati, e Socio straniero Pierre Toubert. Per la Classe di Scienze fisiche sono inoltre stati eletti Soci corrispondenti Lucia Caporaso, Bruno Panella, Paolo Gambino, Paolo Giubellino, Nicolò D'Amico, Alessandro Pavese, Christian Chopin e Maria Gabriella Forno. Nella Classe di Scienze morali, infine, sono stati eletti Soci corrispondenti Marco Revelli, Pier Marco Bertinetto e Walter Meliga.

Purtroppo alle nuove acquisizioni si sono dolorosamente contrapposte, come sempre, numerose perdite. Nella Classe di Scienze fisiche ci hanno lasciato il Socio nazionale residente Giannantonio Pezzoli, il Socio nazionale non residente Germain Rigault de la Longrais, il Socio straniero Wolfgang Rindler, il Socio corrispondente Luigi Salvadori. Nella Classe di Scienze morali sono mancati i Soci nazionali residenti Carlo Augusto Viano e Filippo Carlo Gallo, il Socio nazionale non residente Ettore Casari, i Soci stranieri Wolfgang F. Frühwald e Jean Starobinski, nonché i Soci corrispondenti Gian

Giacomo Fissore, Carlo Federico Grosso e Alfonso Traina. A tutti loro va il nostro commosso ricordo, che verrà rinnovato nelle occasioni commemorative organizzate all'interno delle sedute di Classe o con appositi incontri di studio.

Una decina di giorni or sono, il 7 e 8 novembre, in questa sala si è tenuto un importante Convegno internazionale sul ruolo delle Accademie oggi, tenendo conto anche dell'attuale contesto europeo. Dai lavori sono emersi molti suggerimenti sui temi che le Accademie sono chiamate a discutere e sulle modalità attraverso le quali il loro contributo può efficacemente trovare realizzazione nel rapporto con la società e con le istituzioni. È palese tuttavia che molti di questi compiti possono essere svolti solo da Accademie di dimensioni molto significative, meglio se continentali. È il caso dell'ALLEA, la *European Federation of Academies of Sciences and Humanities*, alla quale siamo affiliati e che ha contribuito all'organizzazione del Convegno. Non sempre, tuttavia, questi compiti sono alla portata di un'Accademia di medie dimensioni come la nostra. Questo ci induce ovviamente in primo luogo a rinsaldare i nostri rapporti con l'ALLEA, per beneficiare degli indubbi vantaggi che derivano dalla convergenza delle forze. Ma l'Accademia delle Scienze di Torino deve anche pensare a definire e difendere un proprio profilo autonomo, sia culturale sia funzionale. In altri termini, l'Accademia deve ripensare il mandato che le proviene dall'art. 1 dello Statuto, secondo il quale il suo primo compito è lo svolgimento dell'attività scientifica, in modo da modularlo secondo le diverse necessità richieste dalla situazione concreta.

Nel corso dell'anno accademico 2018-19 questa missione scientifica è stata svolta lungo due direttive fondamentali: da un lato la produzione di nuova conoscenza attraverso opportuni convegni e incontri di studio scientifici, dall'altro la diffusione e l'alta divulgazione della conoscenza mediante una vasta gamma di iniziative, che saranno ora specificate. È ovvio tuttavia che la linea di separazione tra le attività specificamente scientifiche e quelle divulgative, e a maggior ragione quella di differenziazione tra le diverse forme di divulgazione, è spesso molto labile e ha una funzione organizzativa più che una consistenza reale.

Per quanto riguarda l'attività specificamente scientifica, sul piano delle scienze naturali si sono tenuti gli importanti convegni internazionali su *From split-brains to emotional consciousness* (17 aprile 2019) e su *La Nanobiologia. Nuove tecnologie e nuova biologia* (17 ottobre 2019). Sul versante delle scienze umane sono invece da annoverare i Convegni su *Gli intellettuali europei e la Grande guerra* (29-30 novembre 2018), *William Shakespeare: artista o artigiano* (7 maggio 2019), *Italy and the Suez Canal. A global history, from the mid-19th century to the present* (23 maggio) e la

mezza giornata di studio su *Un carteggio inedito tra Paul Valéry e Albert Einstein* (28 ottobre 2019).

A cavallo tra la produzione e la diffusione della conoscenza sono le iniziative che l'Accademia ha intrapreso per onorare il suo compito di preservazione della memoria storica, funzione particolarmente importante in tempi in cui quest'ultima è spesso intenzionalmente o preterintenzionalmente dissipata, a grave detrimento della consapevolezza culturale attingibile dagli individui come dai gruppi sociali. A volte questa funzione di rammemorazione ha riguardato l'attività di studiosi, i cui profili rischiano di cadere nell'oblio, come quello di Giuseppe Levi, forse oggi più noto come genitore di Natalia Ginsburg e maestro di tre Premi Nobel (Luria, Dulbecco e Levi Montalcini), piuttosto che per la sua importante attività scientifica (6-7 maggio 2019), oppure quello di Enrico Persico, anch'egli forse più noto per la sua amicizia con Enrico Fermi che per i suoi decisivi contributi allo studio della fisica (2-3 ottobre 2019). In altri casi, viceversa, si è trattato di commemorare non direttamente le persone, ma le loro opere, come la giornata di studio per ricordare i sessant'anni dalla pubblicazione del *Gattopardo* di Giuseppe Tomasi di Lampedusa (13 dicembre 2018) o per presentare il volume *Cucire parole, cucire molecole* su *Il sistema periodico* di Primo Levi, risultato tangibile di un convegno tenuto lo scorso anno accademico (20 giugno 2019). Altre volte ancora l'attività di conservazione della memoria si è rivolta, anche più significativamente, a eventi che hanno segnato la nostra storia nazionale: in alcuni casi, come quello delle *Leggi razziali del 1938*, in una forma particolarmente odiosa (19-20 novembre 2018). L'esercizio della memoria storica in questo caso è reso più importante dall'attuale rischio di pericolose reviviscenze razzistiche e xenofobe.

Funzione specificamente divulgativa ha invece avuto un'ampia serie di iniziative culturali in cui l'Accademia ha voluto mettere a disposizione di un pubblico colto, ma non specialistico, le proprie competenze specifiche o quelle di studiosi invitati *ad hoc*. L'intensità dell'impegno dell'Accademia in questo senso ha trovato un concreto riconoscimento nell'elevata valutazione, per la programmazione del triennio 2018-20, ricevuta da parte del Ministero per l'Istruzione, l'Università e la Ricerca nell'ambito della tabella triennale dedicata alla diffusione della cultura scientifica (legge 6/2000), con un conseguente sensibile incremento del relativo finanziamento. La più tradizionale di queste iniziative è costituita dai «Mercoledì dell'Accademia», dieci conferenze – cinque per Classe – in cui i Soci espongono problemi relativi alla loro esperienza scientifica in forma rigorosa ma accessibile a tutti. I temi trattati nell'anno accademico 2018-19 dimostrano l'ampiezza e la varietà degli interessi scientifici coinvolti nell'ultima edizione. A questa manifestazione la cittadinanza è sempre molto interessata, oserei dire affezionata.

L'attività di diffusione culturale è stata da quest'anno promossa con un più consapevole progetto di collaborazione con gli Enti locali, in modo da garantire una sempre più fitta rete di sinergie con il Territorio. Il migliore esempio di questa politica culturale è stata forse la serie di otto conferenze su Leonardo da Vinci, che i Soci dell'Accademia hanno tenuto tra maggio e giugno, in occasione della mostra *Disegnare il futuro. Leonardo a Torino*, organizzata dai Musei Reali per il cinquecentesimo anniversario della morte di Leonardo. Ma bisogna anche ricordare gli eventi che l'Accademia ha organizzato per il cinquantesimo anniversario dell'allunaggio in collaborazione con Infini.To-Planetario di Torino e numerosi altri Enti locali: dalla rievocazione degli studi sulla Luna compiuti nei primi decenni dell'Ottocento dal nostro Socio Giovanni Plana (14 giugno) alla ricostruzione interdisciplinare della presenza del tema lunare nell'astronomia, nella letteratura e nella musica (23 ottobre). Per il secondo anno consecutivo, da gennaio a marzo 2019, è stato realizzato un ciclo di conferenze per informare sulle procedure di restauro e valorizzazione dei Beni culturali (*I Beni culturali tra valorizzazione, restauro e conservazione*), ancora una volta differenziando al massimo la scelta delle opere trattate: una vecchia pellicola cinematografica (*Maciste alpino* del 1916), un quadro (*Alchemy* di Jackson Pollock) e un complesso architettonico (la Fontana di Ercole alla Reggia di Venaria). Per questa iniziativa sono stati coinvolti il Museo del Cinema, la Collezione Peggy Guggenheim di Venezia e la Consulta per la Valorizzazione dei Beni Artistici e Culturali di Torino. Grazie alla ormai tradizionale collaborazione con il Sistema Scienza Piemonte, è stato organizzato, da marzo a maggio, un ciclo di cinque conferenze sul tema della geologia (*Conoscere il passato per gestire meglio il futuro*), con l'obiettivo di mostrare, spesso con il riferimento a specifiche realtà del Territorio, come la comprensione dei processi geologici possa fornire utili informazioni per mitigare gli effetti negativi dei rapidi cambiamenti ambientali prodotti dall'uomo. Infine non sono mancate iniziative relative alla discussione di problemi di attualità, come una conferenza sui Bit-coin (18 febbraio), un incontro di studio per ricordare l'adozione del nuovo Sistema Internazionale di misura (20 maggio) in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica e un altro sulle nuove metodologie metrologiche quantitative, in occasione del Convegno internazionale *Quantum 2019* (29 maggio).

Occorre inoltre ricordare che alcuni di questi Convegni o giornate di studio sono stati accompagnati da percorsi espositivi, in cui la narrazione dei relatori ha trovato esemplificazione e integrazione nel materiale librario, archivistico o strumentale conservato nell'Accademia.

Il quadro delle cooperazioni sul Territorio non sarebbe completo senza ricordare quelle con i due Atenei torinesi. Con l'Università degli Studi di Torino

è già in vigore da più di un anno una Convenzione per la collaborazione scientifica, mentre un'altra Convenzione è stata stipulata in queste settimane con il Politecnico. Né deve essere dimenticata la partecipazione dell'Accademia alle più importanti manifestazioni culturali torinesi, dalla Biennale Democrazia al Salone internazionale del libro, dal Festival del Classico alla Notte internazionale dei Ricercatori.

Nella cornice dell'interazione con altri Enti culturali svolge ovviamente una funzione di primo piano la collaborazione con le altre Accademie. I rapporti con l'ALLEA sono già stati menzionati. La cooperazione con le altre due Accademie torinesi, l'Accademia di Agricoltura e l'Accademia di Medicina, si è concretata nella tradizionale riunione congiunta con la trattazione di un unico tema da tre prospettive diverse (6 dicembre). Quest'anno il tema è stato quello del tempo, in modo da riconnettersi anche al convegno interdisciplinare su *Dimensioni e illusioni del tempo*, tenuto in diverse date e diverse sedi in collaborazione con l'Università di Torino e il Planetario di Infini.To. In particolare si è rafforzata la collaborazione con l'Accademia di Medicina, che ha portato ad alcune manifestazioni comuni, tra cui la commemorazione della figura di Rita Levi Montalcini (17 settembre), e il sopra citato convegno su Giuseppe Levi, nonché l'organizzazione, per il prossimo anno accademico, di una nutrita serie di conferenze sui problemi sociali e medici legati alla condizione dell'invecchiamento. A fronte di questi promettenti impegni, appare invece ancora insoddisfacente la cooperazione tra le Accademie italiane. È stata firmata una Lettera di intenti per la collaborazione scientifica con l'Accademia Ligure di Scienze e Lettere, ma è sicuramente suscettibile di ulteriori sviluppi la cooperazione con le due maggiori Accademie settentrionali, l'Istituto Lombardo e l'Istituto Veneto. Sul piano nazionale, ho personalmente sollecitato il Presidente dell'Unione Accademica Nazionale (UAN) a intensificare la rete di interazione tra le diverse Accademie italiane, inizialmente almeno sul piano dell'informazione delle rispettive iniziative.

Risultato dell'attività scientifica dell'Accademia sono anche le pubblicazioni cui ha messo capo nello scorso anno accademico. Oltre ai consueti *Atti e Memorie* relativi alle due Classi, l'Accademia ha pubblicato singoli volumi specifici, sia autonomamente (con i *Quaderni*), sia in collaborazione con editori esterni, come Il Mulino, Olschki, Dell'Orso, Hapax. In parte questi volumi sono l'esito di convegni o giornate di studio, quali *Gli intellettuali europei e la grande guerra*, a cura di chi vi parla, *Duecento anni di cristalli misti*, a cura di G. Ferraris e R. Oberti, *Pensieri sull'imitazione. Johann Joachim Winckelmann tra storia dell'arte, ideali politici e «Altertumswissenschaft»*, a cura di G.F. Gianotti, oltre al già citato *Cucire*

parole, cucire molecole. Primo Levi e il sistema periodico, a cura di A. Piazza e F. Levi. In altri casi le pubblicazioni sono intese a valorizzare le nostre collezioni librerie e archivistiche, come *Il decifratore e l'abate. Il carteggio tra Champollion e Costanzo Gazzera*, a cura di S. Einaudi, e i quattro volumi che raccolgono i taccuini di Carlo Vidua, *In viaggio dal Grande Nord all'Impero ottomano*, a cura di A. Invernizzi e A. Roccati.

Accanto all'attività di promozione scientifica, l'Accademia ha continuato a svolgere la sua funzione bibliotecaria e archivistica. Oltre a incrementare il proprio patrimonio entro i suoi limiti istituzionali, è proseguita con regolarità la catalogazione di nuovi volumi, quali quelli del lascito Galletto o della donazione del già presidente Rossi, la schedatura degli opuscoli del lascito Millon e l'inventariazione del fondo Piverone.

Mediante lo scanner planetario in dotazione dell'Accademia e con l'attività dei giovani coinvolti nel progetto di Alternanza Scuola Lavoro, in collaborazione con i licei torinesi, è proseguita la digitalizzazione di manoscritti e di carteggi (in particolare il fondo «manoscritti rilegati» e il vastissimo carteggio di Vittorio Cian). Inoltre, sta proseguendo l'innovativo progetto sui Linked Open Data, di cui l'Accademia è capofila per il Coordinamento delle Biblioteche Speciali di Area metropolitana.

Accanto all'attività scientifica e biblio-archivistica, tradizionalmente propria della nostra come di altre Accademie, l'Accademia delle Scienze di Torino ha continuato a svolgere con grande impegno nell'a.a. 2018-19 quello che considera uno dei nuovi compiti delle Accademie nella società contemporanea: cioè l'attività di progettazione per la scuola, sia sul fronte della formazione per gli insegnanti sia su quello della didattica per gli studenti.

Per quanto riguarda l'attività di formazione e aggiornamento per gli insegnanti, da molti anni l'Accademia delle Scienze è partner della Fondazione «I Lincei per la scuola», nata con l'obiettivo di creare una rete nazionale di Poli per il miglioramento dei sistemi d'istruzione e di formazione nazionali. Nello scorso anno accademico l'Accademia ha realizzato in questo quadro corsi di formazione nell'ambito della matematica, della fisica, delle scienze naturali, dell'italiano e delle lettere classiche. Le attività formative, articolate in lezioni frontali e in laboratori, sono svolte o coordinate da membri dell'Accademia in collaborazione con l'Ufficio Scolastico Regionale, il Museo Regionale di Scienze Naturali, il Politecnico e l'Università degli Studi di Torino. È inoltre importato rilevare che dall'a.s. 2018-19 l'Accademia è ente accreditato dal Miur per l'attività di formazione del personale docente.

Sul piano della didattica rivolta direttamente agli studenti l'Accademia ha organizzato nello scorso anno laboratori per la scuola sia primaria sia secondaria. Nel primo caso ci si è proposti di avvicinare i bambini alla scienza

e alla sua storia attraverso personaggi che ne sono stati protagonisti, incen-
trando gli incontri sulla figura di un illustre Socio della nostra Accademia
(ad esempio Amedeo Avogadro per la chimica, Charles Darwin per la bio-
logia, Luigi Lagrange per il sistema metrico decimale, Bernardino Drovetti
per l'egittologia, Luigi Rolando e Rita Levi Montalcini per le neuroscienze).
I laboratori per la scuola secondaria hanno invece approfondito alcuni aspetti
delle discipline scientifiche inserendole nel loro contesto storico, generalmen-
te trascurato dall'insegnamento scolastico.

Last but not least, tra le finalità dell'Accademia vi è quella di elargire Premi,
ma l'Accademia non è solo erogatrice, bensì anche destinataria di Premi,
ovviamente nella persona dei suoi Soci. Poiché la nostra comunità riceve lu-
stro da questi premi e riconoscimenti, mi piace qui ricordarli singolarmente.
Paola Bonfante è stata nominata membro dell'Accademia Europaea, Gastone
Cottino ha ricevuto il Premio Redenti attribuito a studiosi alternativamen-
te di diritto commerciale e diritto processuale/civile, a Gian Luigi Beccaria
è stato assegnato il Premio Dante-Ravenna, Paolo Roberto Federici è stato
nominato Socio corrispondente dell'Accademia dei Georgofili (Firenze),
Giacomo Rizzolatti ha ricevuto la *Laurea honoris causa* dall'Universi-
tad della Repubblica di Montevideo, Roberta Oberti è stata nominata Socio
corrispondente della Accademia Nazionale dei Lincei, Vincenzo Barone ha
ricevuto il Prix Franco-Italien per il 2019 come «riconoscimento per il suo
eminente lavoro nel campo dei metodi di chimica quantistica per il calcolo
di proprietà molecolari elettroniche e spettroscopiche». Il premio, biennale,
creato dalla Société Chimique de France in collaborazione con la Società
Chimica Italiana, è anche in «riconoscimento dei forti legami instaurati con i
chimici francesi». Carlo Ossola ha ricevuto la *Laurea honoris causa* in Lingue
straniere nell'Università di Urbino e Franco Marengo il Premio Tartufari per
le Letterature comparate. Il Socio straniero Jürgen Osterhammel ha vinto il
Premio Balzan 2018 per la Storia e il Großes Bundesverdienstkreuz mit Stern
della Repubblica Federale di Germania. Tra i Soci corrispondenti Erasmo
Carrera ha ricevuto la «JN Reddy Medal», Giovanni Barla è stato nomina-
to «CAS President's International Fellowship for Distinguished Scientists»
presso l'Accademia delle Scienze cinese e il «17th Nonveiller Lecture, in
Split/Omis», nomina della Società geotecnica croata e il «XXXVI Manuel
Rocha Memorial Lecture» della Fondazione Calouste Gulbenkian (Lisbona),
una nomina della Società geotecnica portoghese; Lucia Caporaso è stata
eletta coordinatrice nazionale del progetto PRIN 2017-2017SSNZAW, dal
titolo «Advances in Moduli Theory and Birational Classification», mentre
Rodolfo Carosi è stato nominato coordinatore nazionale del Gruppo Italiano
di Geologia Strutturale della Società Geologica Italiana (triennio 2020-2022)

e rappresentante italiano titolare in IUGS (International Union of Geological Sciences) della commissione CNR-IUGS dal 2019 al 2022; Carlo Borghero ha vinto il Premio Linceo per la Filosofia, Mario Losano è stato nominato Scienziato associato presso il Max-Planck-Institut per la Storia Giuridica Europea (Francoforte sul Meno) e ha ricevuto il Dottorato *honoris causa* presso l'Università Federale della Paraíba (Joao Pessoa, Brasile); Marco Revelli ha vinto il Premio Biella «Letteratura e industria» per il volume *Non ti riconosco. Viaggio eretico nell'Italia che cambia* (Einaudi).

Prima di concludere, vorrei ricordare che le attività dell'Accademia sono state possibili con i contributi del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, del Ministero per i Beni e le Attività culturali e il Turismo, della Regione Piemonte e di altri enti minori, ma soprattutto, per la parte di gran lunga prevalente, con i contributi della Compagnia di San Paolo. Colgo quindi l'occasione per rinnovare l'espressione della nostra più viva gratitudine al Presidente e Consocio Profumo e al Segretario generale dott. Anfossi. Ma la nostra gratitudine nei confronti della Compagnia è motivata, oltretutto dal sostegno ordinario alle attività culturali, dal finanziamento che ha consentito e consentirà gli ingenti lavori di restauro e rifunzionalizzazione del palazzo che abitiamo, il seicentesco Collegio dei Nobili. Ricordo che dal 2005 al 2017, in quattro diverse fasi, sono stati ristrutturati tutti i locali occupati dall'Accademia per le sue attività istituzionali. Attualmente sta per essere avviata una fase finale di lavori che interesserà il corpo delle opere «a finire», con il recupero di tutti gli ulteriori spazi di proprietà dell'Accademia.

In conclusione, desidero esprimere pubblicamente la mia soddisfazione e la mia gratitudine al Consiglio di Presidenza, che ha programmato l'attività dell'Accademia e risolto problemi a volte complessi, alla Cancelliera, alla Responsabile dell'Archivio e della Biblioteca, alla Segretaria di Presidenza e al personale tutto, il cui lavoro è stato come sempre insostituibile. Infine vorrei ringraziare ancora una volta tutti i Soci che hanno dato il loro prezioso contributo. Questa intensa e molteplice attività ha fatto sì che l'Accademia abbia fatto anche quest'anno un passo in più verso ciò che deve essere, un polo in cui energie plurime e competenze complementari si mettono a disposizione per un progetto unitario di produzione, conservazione e diffusione della cultura. Sarebbe illusorio pensare che il completo conseguimento di questo obiettivo sia a portata di mano, ma ci consola il pensiero che stiamo impegnando tutte le nostre forze per avvicinarvi sempre di più.

MASSIMO MORI

The Role of Engineering in the Conservation of Architectural Heritage

Opening Lecture of the Resident National Member Mario Alberto CHIORINO
(Academic Year 2019-2020)

The protection of architectural heritage requires the contribution of different sciences. This lecture discusses the significant and progressively increasing role of structural and geotechnical disciplines in the strategies for conservation and restoration of historical constructions and monumental buildings. Attention is paid to the gradually increasing recognition of the importance of this role within international debate¹, and corresponding reflection in principles and guidelines successively incorporated in charters and documents formulated at national and international level. A process that was accentuated in recent years, in connection in particular with the perspective of establishing scientifically based global strategies for the evaluation and mitigation of the seismic risk of some of the most relevant architectural heritage patrimonies located in seismic active areas, as e.g. Italy and India².

In its second part the lecture is focused on a few relevant case studies apt to demonstrate how these disciplines can effectively contribute to the processes of reliability analyses and of conservation of structurally complex and challenging important monuments of both historical and contemporary architecture.

¹ D.F. D'Ayala, M. Forsyth, *What is Conservation Engineering?*, in M. Forsyth (ed.), *Structures & Construction in Historic Building Conservation*, Wiley-Blackwell, Oxford 2007.

² R. Cecchi, M. Calvi (coords.), S. Lagomarsino (ed.), *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni* (Guidelines for the evaluation and reduction of seismic risk of cultural heritage with reference to the Technical Code for Constructions; in Italian), July 2006; 1st official edition: Dirett. Pres. Cons. Min. 12.10.2007, Gazzetta Ufficiale 29.01.2008 n. 24; 2nd official edition: Dirett. Pres. Cons. Min. 09.02.2011, Gazzetta Ufficiale 26.02.2011, n. 47, Supplemento ordinario n. 54. EU-India Economic Cross Cultural Programme: Improving the Seismic Resistance of Cultural Heritage Buildings, *Guidelines for the Conservation of Historical Masonry Structures in Seismic Areas*, Universidade do Minho, Universidad Politécnica de Catalunya, Central Building Research Institute (India), Università di Padova, 2006.

A special attention is dedicated in the end to the case study of the Sanctuary of Vicoforte, a monumental building of great historical, architectural, and structural significance, characterized by one of the largest masonry domes in the world, and by far the largest oval one. Mention is made of the strategies adopted for structural modelling and analyses in the static domain, for the reliability assessments under gravity loads, as well as to the analyses in the dynamic domain, for both model updating processes and the evaluation of the seismic risk of this outstanding historical construction, and to the related research program coordinated by the Politecnico di Torino in the context of a wide international debate and cooperation.

1. Historical aspects

Roots and early development of the contribution of mechanical and engineering sciences to conservation and restoration of historical monuments can be detected in the entire construction history of past centuries. A detailed review of this intriguing and exciting itinerary falls beyond the limits of this lecture; reference can be made to specialized literature in the history of mechanics and construction science³. One preeminent episode was the early application, although with some errors and limits, of the kinematic and the static approach of modern limit analysis to the checks of the safety conditions of St. Peter's dome in Rome, by, respectively, the Three Mathematicians⁴ (Fig. 1) and by

³ See e.g. E. Benvenuto, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico* (Structural mechanics and its historical development; in Italian), Sansoni, Firenze 1981.

⁴ T. Le Seur, F. Jacquier, R.G. Boscovich, *Parere di tre matematici sopra i danni che si sono trovati nella cupola di S. Pietro, Sul fine dell'Anno 1742, dato per ordine di Nostro Signore Benedetto XIV* (Opinion of three mathematicians on the damages observed in St. Peter's dome at the end of the year 1742, given by order of Our Lord Benedict XIV; in Italian), Fratelli Palearini, Rome. Also in: *Scritture concernenti i danni della cupola di San Pietro di Roma e i loro rimedi* (Writings on the damages of St. Peter's dome and related remedial measures; in Italian), Occhi, Venezia 1742. T. Le Seur, F. Jacquier, R.G. Boscovich, *Riflessioni de' padri Tommaso Le Seur, Francesco Jacquier dell'Ordine de' Minimi, e Ruggiero Giuseppe Boscovich della Compagnia di Gesù, sopra alcune difficoltà spettanti i danni, e Risarcimenti della Cupola di S. Pietro Proposte nella Congregazione tenutasi al Quirinale a' 20 Gennaro MDCCXLIII. E sopra alcune nuove Isppezioni fatte dopo la medesima Congregazione* (Reflections of ... on some difficulties concerning damages and remedial actions in St. Peter's presented in the Congregation held at the Quirinale on January 20th 1743. And on some new surveys made after the same congregation; in Italian), Rome 1743.

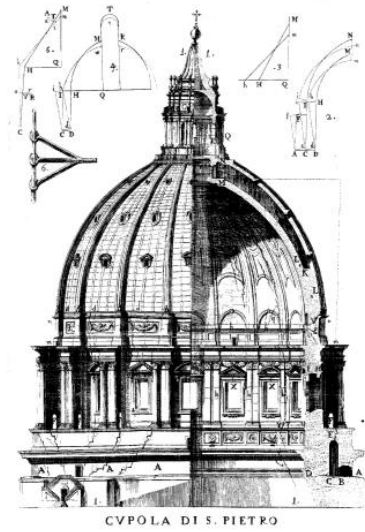


Fig. 1. Kinematic analysis of St. Peter's dome by the Three Mathematicians.

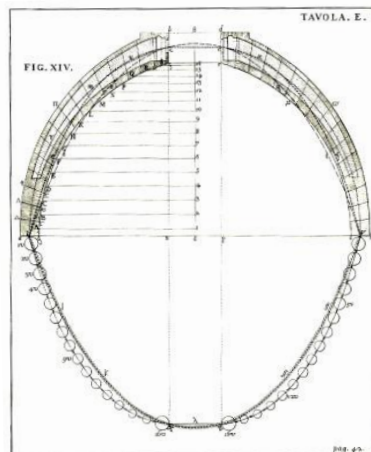


Fig. 2. Static analysis of St. Peter's dome by the Giovanni Poleni.

Poleni⁵ (Fig. 2), preliminary and in parallel to the strengthening intervention operated by Poleni and Vanvitelli in 1743-48⁶.

2. Principles and guidelines gradually incorporated in charters and documents

In a search for a more recent historical perspective of the progressively rising interaction and mutual fertilization between, on one side, the art, culture and science of conservation and restoration and, on the other side, the engineering sciences and techniques, in the frame of a broad vision of the polytechnic culture, one can first explore basic principles and conceptual guidance rules that were debated at the turn of 19th century in the national and international ambient of congresses and societies of architects and engineers.

⁵ G. Poleni, *Memorie istoriche della gran cupola del Tempio Vaticano, e de' i danni di essa, e de' ristoramenti loro, divise in libri cinque, alla Santità di Nostro Signore Papa Benedetto XIV* (Historical notes on the large dome of Vatican Temple, and on its damages, and their restoration, subdivided in five books, to the Holiness of Our Lord Benedict XIV; in Italian), Stamperia del Seminario, Padova 1748.

⁶ In what concerns the kinematic approach adopted by the Three Mathematicians it must be noted that an analysis varying the position of the mechanical hinges so that the minimum safety coefficient is found was not performed, the location of the hinges having being selected in pre-determined positions. Their approach and the consequent results have been analyzed and discussed in a wide number of studies in recent times, while recognizing however in any case the valuable conclusion of their report concerning the need of additional iron rings to guarantee the stability of the dome. For a comprehensive analysis of this wide debate see D. Capecchi, C. Tocci, *Le perizie sulla cupola vaticana di Le Seur, Jacques e Boscovich*, in «Palladio. Rivista di Storia dell'Architettura e Restauro», 47, 2011. See also: M.F. Funari, L.C. Silva, D.V. Oliveira, P.B. Lourenço, *A user-friendly digital tool for the structural assessment of historic domes: the case study of Saint Peter in Rome*, 12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions SAHC 2020, P. Roca, L. Pelà, C. Molins (Eds.), pp. 211-220. On the other hand, the approach by Poleni was based on an early application of the static theorem. The limit of Poleni's approach consisted in the fact that his analysis of the position of the thrust line was limited to the dome, and did not concern the global structural system of the dome and the drum. However, in spite of the reassuring results of his analysis, Poleni wisely adopted the suggestion of the Three Mathematicians of applying the additional reinforcing iron rings. Both approaches, by the Three mathematicians and Poleni were in the frame of a two dimensional plane problem schematically applied to a slice of the dome in the vertical plane, resulting from the assumption of the presence of two meridional cracks isolating the slice from the rest of the dome. More advanced modern spatial approaches are discussed e.g. in G. Ventura, M. Coppola, C. Calderini, M.A. Chiorino, *Three-Dimensional Limit Analysis of the Vicoforte Elliptical Dome*, in «International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration», 8:5, 2014, pp. 649-669.

As an example, the First Italian Restoration Charter developed – with the preeminent role of Italian architect Camillo Boito (1836-1914) – within the 3rd Congress of Italian Architects and Engineers in 1883⁷ after having established as basic principle the respect of authenticity of monuments of architectural heritage, takes into consideration the problems arising from the need of improving their structural reliability. At this respect, it recommends a proper strategy based on minimum interventions, and in case of necessary additions, on an easy possibility to distinguish them from the original parts.

The Athens Charter for the Restoration of Historic Monuments, adopted at the First International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Athens 1931⁸, represents the main document in this domain developed in the first half of 20th century, establishing basic principles and guidelines. In its main introductory resolutions it clearly states, for the first time, the principle that «modern techniques and materials may be used in restoration work», while recommending in subsequent item IV Restoration of Monuments a «judicious use of all the resources at the disposal of modern technique and more especially of reinforced concrete» (a somehow ambiguous and perhaps excessive evidence given to this new technique, whose use is expected today to be considered with proper caution, in particular when rehabilitation interventions are intended to reduce the seismic risk of masonry and stone constructions of historical architectural heritage, due to possible undesirable increases in mass and rigidity in some parts of these constructions⁹).

The Athens Charter also recommends at its item VI that «before any consolidation or partial restoration is undertaken, a thorough analysis should be made of the defects and the nature of the decay of these monuments», recognizing that each case needs to be treated individually: an anticipated recommendation of modern integrated approach and methodological consistency, which, as discussed in the sequel, currently specify an appropriate sequence of consecutive steps similar to those used in medicine¹⁰.

⁷ C. Boito (ed.), *Prima Carta Italiana del Restauro* (First Italian Charter for Restoration; in Italian), 3rd Congress of Italian Architects and Engineers, Rome 1883.

⁸ *Athens Charter for the Restoration of Historic Monuments*, adopted at the First International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Athens 1931. <http://www.icomos.org/en/resources/charters-and-texts>.

⁹ See references in note 2. At the time reinforced concrete was extensively used e.g. in the strengthening of the masonry structures of the Mole Antonelliana in Turin (designed by Alessandro Antonelli at the end of 19th century) by A. Pozzo and G. Albenga (1930-1939, lower part) and later by Albenga and A. Danusso (1950-1953, dome). C. Calderini, L.C. Pagnini, *The debate on the strengthening of two slender masonry structures in early XX century*, in «J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.», 147, 2015, pp. 302-319.

¹⁰ See ICOMOS CHARTER – *Principles for the Analysis, Conservation and Structural*

The Italian Charter of Restoration, established in 1932 by «Consiglio Superiore delle Antichità e Belle Arti»¹¹, is largely inspired by the Athens Charter of 1931. After having stated that «restoration [...] results from a combination of science, art and technique», the Charter recommends to pay the deepest attention to maintenance and rehabilitation works in order to re-establish proper strength and durability for the monuments. Further in the text the following other guiding criteria are recommended:

- «in what concerns the additions that will be required to obtain the strengthening [...] the criterion to be followed should be, besides that of limiting these interventions to the possible minimum, also that of conceiving them in the simplest possible way and in accordance with the original structural conception»;

- in the aim of improving structural safety and reliability of a monument «the most advanced modern techniques may be used, whenever the use of techniques similar to the ancient ones appears inadequate for this scope», and structural conservation procedures must be based on «strictly scientific approaches».

In the first decades of the second half of past century, the major cultural event, in the progressive development at the international level of advanced policies for conservation and restoration of cultural heritage, is represented by the 2nd International Congress of Restoration held in Venice in 1964¹², which gathered architects and technicians of historic monuments from all over the world. The main outputs of this congress were the establishment of ICOMOS International Council on Monuments and Sites¹³, and the drafting of the International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites¹⁴.

In what concerns ICOMOS, it must be noted that its mission underlines the contribution of sciences to the conservation process, stating that «it is the

Restoration of Architectural Heritage, 2003 (see here Section 3), and EU-India, 2006, cit.

¹¹ *Carta Italiana del Restauro* (Italian Charter for Restoration; in Italian), Consiglio Superiore per le antichità e belle arti, 1932.

¹² ICOMOS International Council of Monuments and Sites – Conseil International des Monuments et des Sites, *Il monumento per l'uomo – Le monument pour l'homme – The monument for the man*, Records of the II International Congress of Restoration, Venezia, 25-31 maggio 1964, Marsilio Editori, Padova 1971.

¹³ *Resolution Concerning the Creation of an International Non-Governmental Organisation for Monuments and Sites*, 1964, in ICOMOS 1971, pp. LXXII- LXXIV.

¹⁴ *International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (The Venice Charter)*, 1964, in ICOMOS 1971, pp. LXIX-LXXII, http://www.icomos.org/charters/venice_e.pdf.

only global non-government organisation of this kind, which is dedicated to promoting the application of theory, methodology, and scientific techniques to the conservation of the architectural and archaeological heritage»¹⁵.

As for the Venice Charter, Piero Gazzola, Chairman of the organizing committee of the Congress and principal author with Raymond Lemaire of the Charter, declares in the Foreword to the records of the congress that

above all, it is to be recognized that the most important positive result by far of this assembly has been the formulation of the international code for restoration: not simply a cultural episode but a text of historical importance [...]. In fact, from now on, the Charter of Venice will be in the entire world the official code in the field of the conservation of cultural properties¹⁶.

Reaffirming some of the principles already stated in previous charters¹⁷ the Venice Charter declares at its Article 2

The conservation and restoration of monuments must have recourse to all the sciences and techniques which can contribute to the study and safeguarding of the architectural heritage,

and at its Article 10

Where traditional techniques prove inadequate, the consolidation of a monument can be achieved by the use of any modern technique for conservation and construction, the efficacy of which has been shown by scientific data and proved by experience.

If we go through the ponderous volume of the proceedings of the Venice Congress¹⁸ we may notice that some of the debated subjects show the progressive increase of the influence of the role of structural engineering and geotechnics in the conservation of historical monuments. Just to quote a few, we may indicate the discussion on the reconstruction, repair and preservation of monuments at Skopje destroyed or heavily damaged by the catastrophic earthquake of July 1963; the use of advanced techniques like strengthening through the application

¹⁵ <http://www.icomos.org/en/>

¹⁶ P. Gazzola, *Foreword*, in ICOMOS 1971, pp. XXVII-XXX.

¹⁷ P. Gazzola, R. Pane, *Proposte per una Carta Internazionale del Restauro* (Proposal for an International Charter of Restoration; in Italian with English Summary), in ICOMOS 1971, pp. 14-19.

¹⁸ ICOMOS 1971.

of active prestressing by steel tendons in the restoration of structures of architectural heritage; the debated problem of the detecting of adequate solutions for improving the progressively worsening stability, at the time, of the leaning Tower of Pisa, and the related structural and geotechnical issues¹⁹.

3. ICOMOS-ISCARSAH Principles and Guidelines

A turning point in the establishment of a specific ambient for debating the role of structural and geotechnical disciplines in the restoration of architectural heritage was the founding in 1996 by ICOMOS of ISCARSAH, the International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage, as a worldwide forum and network for all those involved in the field. After a few years of debate, ISCARSAH authored the ICOMOS Charter Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage, ratified by ICOMOS in 2003, which were followed by Guidelines to be used in tandem with the Principles as global recommendations in this domain²⁰.

These two fundamental documents still represent the main international reference for selecting proper strategies for conservation and structural restoration interventions. In the past decade they also represented the conceptual frame for the establishment by the scientific community of advanced guidance criteria and strategies, which are discussed in the sequel, for the more specific and increasingly relevant challenge of the evaluation and mitigation of the seismic risk of architectural heritage.

The main concepts incorporated in the ICOMOS Principles are the following:

- «Conservation, reinforcement and restoration of architectural heritage requires a multi-disciplinary approach»;
- «The peculiarity of heritage structures, with their complex history, requires the organisation of studies and analyses in steps that are similar to those used in medicine. Anamnesis, diagnosis, therapy and controls, corresponding respectively to the searches for significant data and information, individuation of the causes of damage and decay, choice of the remedial measures and control of the efficiency of the interventions».

¹⁹ C. Cestelli Guidi, *Prolegomeni al problema della stabilità della Torre di Pisa* (Prolegomena to the problem of stability of the Tower of Pisa; in Italian with English Summary), in ICOMOS 1971, pp. 506-512.

²⁰ ICOMOS-CHARTER 2003, cit.; for Guidelines work is still in progress, see: P. Roca, *The ISCARSAH Guidelines on the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*, in P. Roca et al. (Eds.), 2020, cit. (see note 6); reference is made in the following to the 2003 draft edition.

With respect to diagnosis the Principles state that it «is based on historical, qualitative and quantitative approaches» and that the quantitative approach requires «material and structural tests, monitoring and structural analysis».

In what concerns remedial measures and controls, an articulated framework is indicated for a virtuous approach evidencing, among other aspects, the needs to «address root causes rather than symptoms», to base conservation and reinforcement measures on adequate «safety evaluation and an understanding of the significance of the structure», and to keep «intervention to the minimum to guarantee safety and durability with the least harm to heritage values».

It is also specified that «the choice between “traditional” and “innovative” techniques should be weighed up on a case-by-case basis and preference given to those that are least invasive and most compatible with heritage values, bearing in mind safety and durability requirements». And it is remarked that «at times the difficulty of evaluating the real safety levels and the possible benefits of interventions may suggest “an observational method”, i.e. an incremental approach, starting from a minimum level of intervention, with the possible subsequent adoption of a series of supplementary or corrective measures».

Finally, the Principles insist on the concepts of a) *reversibility*, recommending that «where possible, any measures adopted should be “reversible” so that they can be removed and replaced with more suitable measures when new knowledge is acquired. Where they are not completely reversible, interventions should not limit further interventions»; and b) *compatibility*, requiring that «the characteristics of materials used in restoration work (in particular new materials) and their compatibility with existing materials should be fully established».

The related Guidelines represent an extended organic global document intended to assist in establishing a rational approach and related proper strategies for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage. The successive topics of: 1) General Criteria, 2) Acquisition of data: Information and Investigation, 3) The structural behaviour, 4) Diagnosis and safety evaluation, and 5) Structural damage, materials decay and remedial measures, are discussed in detail providing valuable guidance criteria. The crucial role of modern structural analysis is underlined in what concerns item 4), evidencing, among other aspects, that

The essence of the problem is the identification of meaningful models that adequately depict both the structure and the associated phenomena with all their complexity making it possible to apply the theories at our disposal.

A proper evidence to the important role of mathematical interpretative models, and to the currently fully recognized fundamental role of model identification and updating techniques as further and more precisely stated in the sequel of the text:

Mathematical models are the common tools used in structural analysis. Models describing the original structure, if appropriately calibrated, allow comparison of the theoretical damage produced by different kinds of action with the damage actually surveyed, providing a useful tool for identifying the causes of such damage. Mathematical models of both the damaged and the reinforced structure will help to evaluate present safety levels and to assess the benefits of proposed interventions.

4. Guidelines for evaluation and mitigation of seismic risk to cultural heritage

One major occasion for a more intense recognition of the role of structural engineering and geotechnics in the conservation of historical monuments has been provided by the development, especially in the last more than one decade, of extended debate at international level on conservation strategies for architectural heritage in seismic prone areas, and the consequent editing in recent years of relevant guidance documents in the field aimed to contribute to mitigate the risk associated with the seismic vulnerability of this heritage. Such actions were undertaken in particular in consideration of major losses suffered along past century and in the first years of new century the by extended portions and important masterpieces of architectural heritage in some regions characterized at the same time by the presence of outstanding multi-century patrimony of this heritage and significant seismic action, like, for example and especially, Italy and India (see the map of seismic risk in Italy in Fig. 3).

The Italian Code of cultural heritage and landscape²¹, edited in 2004, at its article 29, Conservation, already recognizes the basic strategic concept that «in the case of historical buildings situated in regions with a declared seismic risk, the restoration must include structural improvement», for the reduction of this risk.

In the wake of this new progressive awareness of the importance of preserving cultural heritage, with particular regards to historical constructions and monuments, from seismic risk, one important and valuable document resulting from intense interdisciplinary debate is represented by the Italian

²¹ *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137* (Code for cultural heritage and landscape; in Italian), Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, Gazzetta Ufficiale 24.02.2004, n. 45, Supplemento ordinario n. 28 (see also further amendments 2004-2011).

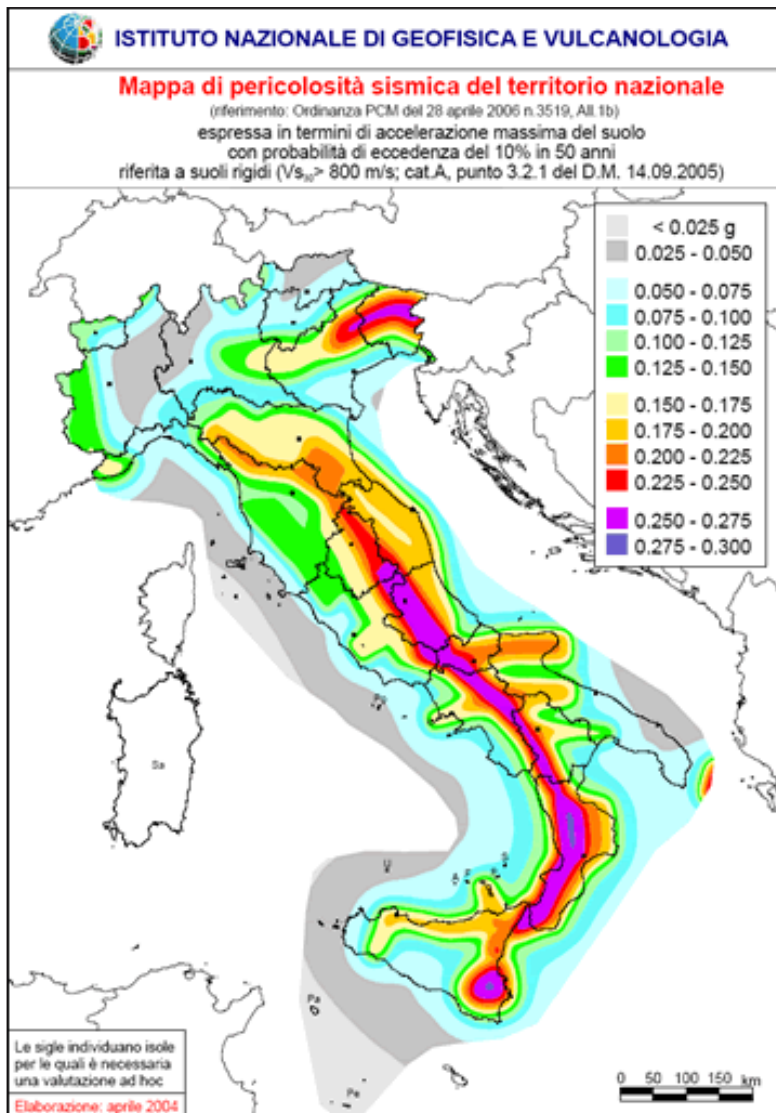


Fig. 3. Map of seismic risk in Italy. INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2004). <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>.

For any further information see INGV Site Guide: <http://terremoti.ingv.it/en/help>.

Guidelines for evaluation and mitigation of seismic risk to cultural heritage²². Drafted by a panel of academic and professional experts of, on one side, the art and science of restoration, and, on the other side, structural and geotechnical engineering, these Guidelines were first established in 2006, and subsequently reedited and updated in agreement with development and progressive evolution of the national Technical Code for constructions and inherent prescriptions on analyses and safety and reliability checks with respect to seismic actions.

At the international level, an important reference document is represented by the coeval Guidelines for the Conservation of Historical Masonry Structures in Seismic Areas, published in 2006 in the frame of EU-India Economic Cross Cultural Programme²³, together with two other guidance documents on, respectively, monitoring and strengthening strategies.

More recently, at the European level, the text of the European Guidelines for the seismic preservation of cultural heritage assets was delivered within the research project PERPETUATE (Performance-based approach to the earthquake protection of cultural heritage in European and Mediterranean countries) supported by the European Commission²⁴. The parallel research project NIKER (New integrated knowledge-based approaches to the protection of cultural heritage from earthquake-induced risk), also funded by the European Commission, aims at developing an integrated methodology for the systemic improvement of the seismic behaviour of cultural heritage assets²⁵.

²² See reference in note 2.

²³ See reference in note 2.

²⁴ C. Modena, S. Lagomarsino, F. da Porto, S. Cattari, *Earthquake protection of masonry historical constructions: overview of results from Niker and Perpetuate European projects*, in J. Jasieñko (ed.) *SAHC 2012, 8th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions*, Wroclaw, Poland, October 15-17, 2012, DWE, Wroclaw 2012, pp. 2851-2860; S. Lagomarsino, S. Cattari, C. Calderini, *Deliverable D41, European Guidelines for the seismic preservation of cultural heritage assets*, in PERPETUATE, 2012; file:///C:/Users/Utente/Downloads/perpetuate-deliverable-d41-european-.pdf. See also <https://cordis.europa.eu/project/id/244229>; D.F. D'Ayala, S. Lagomarsino, *Performance-based assessment of cultural heritage assets: outcomes of the European FP7 PERPETUATE project*, in «Bulletin of Earthquake Engineering», Vol. 13, Issue 1, January 2015, pp. 5-12; S. Lagomarsino, S. Cattari, *PERPETUATE guidelines for seismic performance-based assessment of cultural heritage masonry structures*, in «Bulletin of Earthquake Engineering», Vol. 13, Issue 1, January 2015, pp. 13-47.

²⁵ C. Modena, S. Lagomarsino, F. da Porto, S. Cattari, *Earthquake protection of masonry historical constructions*, cit.; F. da Porto, B. Silva, F. Lorenzoni, P. Girardello, M.R. Valluzzi, C. Modena, *New integrated knowledge based approaches to the protection of cultural heritage from earthquake-induced risk*, in «Structural Engineering World Congress SEWC 2011», Villa Erba, Italy 2011, April 4-6. See also <https://cordis.europa.eu/project/id/244123/it>.

A detailed examination of the contents of all the above documents is out of the scope of this lecture. Suffice to say that, combining the most advanced outputs of current research in the fields of seismic engineering and of structural mechanics (with special regards to traditional construction techniques and materials, like e.g. stone and brick masonry and wood²⁶) with the requirements of conservation and restoration, pursuing the complex and debated target of reconciling safety and conservation requirements, the guidance concepts and criteria developed in all these documents address the following sequential aspects: the definition of performance limit states specific for the cultural heritage assets, the definition of the seismic input with proper attention to site amplification effects, the knowledge of the historical construction under consideration, the techniques for the analysis of the seismic response and evaluation of seismic safety through adequate modelling and, lastly, the definition of proper strategies for rehabilitation.

In what concerns structural models for the evaluation of seismic safety, besides discussing both different possible approaches for seismic analysis methods and seismic assessment levels, attention is dedicated, in particular by Italian Guidelines, to simplified evaluation models by structural types. These models are apt for a first level qualitative analysis for seismic safety assessment of the entire architectural heritage at a regional scale.

In consideration of the particular seismic vulnerability of the important architectural heritage represented in Italy by churches²⁷ (being characterized, especially in the case of monumental ones, by challenging structural architecture encompassing wide internal spaces, large arches and vaults, important façades with free standing tympanums, and, in quite a few cases, daring dome and drum configurations) a specific focus is placed on this type of structures. A certain number of typical damage mechanisms associated to various macro elements, which exhibit an almost independent behaviour, are presented in detail in the Italian Guidelines.

²⁶ While the ICOMOS and ISCARSAH Principles and Guidelines are referred to all types of historical structures of the architectural heritage, including modern buildings in iron, steel and reinforced concrete that are now recognised as being of historic importance, all other mentioned guidelines principally refer to historical masonry constructions.

²⁷ Surveys of vulnerability and damage assessment performed at regional levels after seismic events taking into consideration the entire heritage of both churches (including the simplest and less monumental) and of residential palaces show that in some cases the seismic vulnerability of palaces may result statistically higher, due to lack of maintenance, or improper rehabilitation and strengthening interventions by private owners. See S. Podestà, C. Romano, L. Scandolo, *Molise, Valutazione della sicurezza sismica a livello territoriale* (Molise, Evaluation of seismic safety at territorial level; in Italian); [https://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1295445079370_4\)Esempi\(6\).pdf](https://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1295445079370_4)Esempi(6).pdf).

In one of the recent above mentioned documents, PERPETUATE European Guidelines, a few advanced conceptual guidance criteria are accentuated²⁸:

The first driving idea is that the protection of cultural heritage needs an improvement in methods of analysis and assessment procedures rather than in intervention techniques. The second driving idea is that a verification approach in terms of displacement capacity rather than in term of strength is more reliable and effective for heritage buildings and that flexibility, ductility and lightness are positive factors for their seismic behaviour. The third idea is that a reliable assessment procedure of heritage buildings requires the assessment of both architectonic and artistic assets contained in them.

5. Advanced debate, research and education ambients

In the last two decades, an intense activity was developed at national and international level for the establishment of proper ambients for advanced debate, synthesis of research, and education on the role to be played by structural engineering and geotechnics in a multidisciplinary approach to the conservation of architectural heritage. One main forum for discussion of research achievements and for the analysis of notable case studies is represented by the series of SAHC international conferences on Structural Analysis of Historical Constructions. The first two editions were held in Barcelona in 1995 and 1998, followed by biennial editions in Europe and other locations in the world; the last recent venues were in 2018 in Cusco, Perú, and in 2021 in Barcelona (online edition coordinated by CIMNE International Centre for Numerical Methods in Engineering). The next edition will be in 2023 in Kyoto.

At the scientific literature level, one of the corresponding principal vehicles for research dissemination and debate in the field is currently represented by the International Journal of Architectural Heritage.

High level research and education multidisciplinary programs, merging advanced technical and scientific achievements in structural mechanics and geotechnics with the science, culture and ethics of conservation and restoration, have been established in various universities and academic institutions, in Italy and elsewhere, and within international networks of these institutions (see e.g. SAHC Advanced Masters in Structural Analysis of Monuments and

²⁸ PERPETUATE-Final Report Summary. <https://cordis.europa.eu/project/id/244229/reporting>.

Historical Constructions²⁹ and, in the more specific domain of protection of cultural heritage from earthquake-induced risk, the above mentioned European programs NIKER and PERPERTUATE).

6. Outstanding recent case studies emphasizing the role of structural engineering and geotechnics in the conservation of historical monuments

In recent years, a few outstanding cases of structural restoration interventions were successfully performed with a fundamental contribution of structural engineering and geotechnics, in the frame of an intentional multi-disciplinary approach.

A most eminent case, among others, was the intervention, after a long historical debate³⁰, for the safeguard of the celebrated monument of the leaning Tower of Pisa.

An extraordinary and unique intervention that was based on the use of the most advanced scientific knowledge and techniques both in the field of geotechnics and structural mechanics, performed with the specific intent of adopting the less invasive approaches in the full respect of the historical artistic

²⁹ <http://www.msc-sahc.org/>

³⁰ A prominent protagonist of this debate in the second half of past century was Gustavo Colonnetti (1884-1986), the eminent scientist of mechanics of structures, former Professor at the Politecnico di Torino and President (1945-1956) of the Consiglio Nazionale delle Ricerche. In the 1960s Colonnetti was strongly worried by the problems of the increasing leaning and related stability problems of the Pisa Tower. Besides promoting a systematic monitoring campaign of the leaning of the Tower, he conceived some remedial interventions. Although his proposals of intervention consisting either in a device for lifting the tower in order to allow the construction of a new foundation (1963, with Riccardo Morandi, Fig. 4.1), or in a device based on the use of a lever pushed upward by a huge jack in order to reduce the stresses on the soil under the Tower foundation, and consequently the tendency to the increase of inclination (1965, Fig. 4.2) were debatable and probably utopian, the great merit of Colonnetti was to strongly raise the alert not only in the scientific ambient (see note 19 in Section 2), but also in the spheres of decision makers at the level of the public institutions. Colonnetti was also concerned by the effects of the wind on the Tower, and promoted an appropriate test of a 1:50 reduced scale model in the wind tunnel of the Politecnico di Torino. See G. Colonnetti, *Su la possibilità di sotto-fondazione del campanile di Pisa*, Commentarii, Pontificia Accademia Scientiarum, Vol. 1, n. 36, 1963; Id., *Progetto di sollevamento del campanile di Pisa onde rendere possibile la costruzione sotto di esso di una fondazione efficiente*, Stamperie Editoriali Rattero, Torino 1963; Id., *L'azione del vento sulla torre di Pisa e il problema della sua immediata salvaguardia*, in «Atti dell'Accademia delle Scienze», Vol. 99 (1964-1965), Torino, April 1965; Id., *Su la possibilità di arrestare il progressivo incremento della pendenza della torre di Pisa*, in «Atti dell'Accademia delle Scienze», Vol. 100 (1965-1966), Torino, November 1965.

and architectural values of the monument, and the ethics of restoration. Developed with a deep understanding of the strict connections in the risk of structural collapse of the Tower between progressive leaning, wind and seismic actions, and the existence of some critical sections in the masonry structure of the Tower due to inadequacy of the dimensions of the resisting sections, the final intervention – which was based on controlled ground extraction (under-excavation) from foundation layers, and active reversible intervention for local strengthening of the structure of the Tower, with the application of tensioned stainless steel reinforcing rings, after a thorough mechanical analysis and investigation of the structure (Fig. 5) – was the result not only of an intense debate but also, and especially, of a synthesis and integration between different cultures³¹.

Other outstanding cases of structural analysis, monitoring, and in some cases of strengthening and rehabilitation interventions, of important historical constructions are related to other celebrated monuments like, to quote just a few among many others, the Cathedral of Mexico City (where advanced monitoring and modeling was performed, with respect to soil settlements and seismic risk, and the under-excavation remedial measure, which was subsequently applied for the Pisa Tower, was first tested to counteract differential settlements³²); the dome of Santa Maria del Fiore in Florence for which a careful modeling and monitoring actions have been undertaken³³, as well as other notable monuments around the world.

³¹ S. Settis, M. D'Elia, M. Jamiolkowski, G. Macchi, F. Veniale, G. Viggiani (Eds.), *La Torre restituita. Gli studi e gli interventi che hanno consentito la stabilizzazione della Torre di Pisa* (The recovered Tower. Studies and interventions that have led to the stabilization of the Tower of Pisa; in Italian), Voll. I-III, Ist. Poligrafico e Zecca dello Stato, Coll. Bollettino d'Arte, Volume Speciale, Roma 2005; J.B. Burland, M.B. Jamiolkowski, N. Squeglia, C. Viggiani, *The Tower of Pisa. History, Construction and Geotechnical Stabilization*, CRC Press, London 2020, 62 pp.

³² R. Meli, A.R. Sánchez, *Rehabilitation of the Mexico City Cathedral*, in «Structural Engineering International», 9 (2), 1997, pp. 101-106; D. Rivera, R. Meli, R. Sánchez, B. Orozco, *Evaluation of the measured seismic response of the Mexico City Cathedral*, in «Earthquake Engineering & Structural Dynamics», Vol. 37, Issue 10, 2008, pp. 1249-1268; V. Hernández, E. Santoyo, J. Hernández, *Geotechnical behavior of the Cathedral after 10 years of the intervention of subsoil*, in F. Peña, M. Chávez (ed.), *Proceedings of SAHC 2014, 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions*, Mexico City, Mexico, 14-17, October 2014.

³³ G. Bartoli, M. Betti, C. Borri, *Numerical Modeling of the Structural Behavior of Brunelleschi's Dome of Santa Maria del Fiore*, in «International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration», Vol. 9, n. 4, 2015, pp. 408-429.

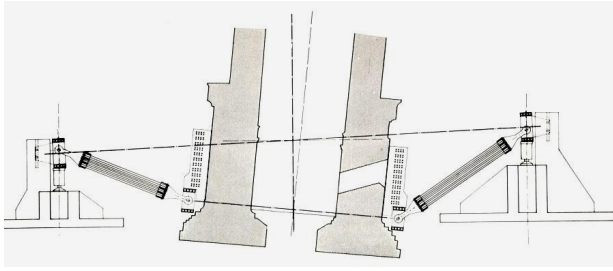


Fig. 4.1. Device for lifting the Tower in order to allow the construction of a new foundation (Gustavo Colonnetti with Riccardo Morandi, 1963).

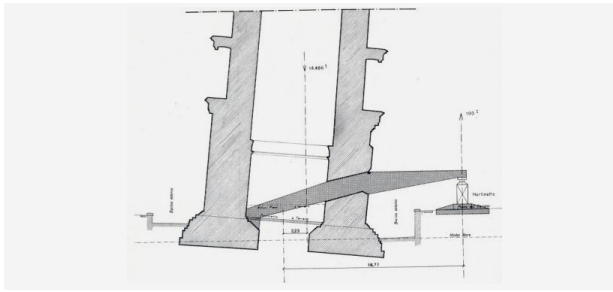


Fig. 4.2. Device for reducing the stresses on the soil under the Tower foundation (Gustavo Colonnetti, 1965).

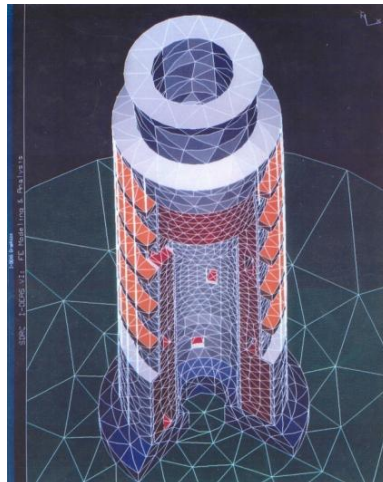


Fig. 5. Finite-element model for the structural analysis of the Tower of Pisa (G. Macchi in S. Settis *et al.*, 2005, cit.).

7. Some case studies concerning the conservation of the historical and contemporary architectural heritage in Turin

The architectural heritage of Turin is characterized by the presence of some important examples of baroque architecture, as well as, in recent times, by remarkable masterpieces of contemporary structural architecture.

Some case studies concerning the conservation of some notable works of art of this heritage are briefly discussed in the following.

Cappella della Sindone (Chapel of the Holy Shroud; Guarino Guarini 1679)

The conservation intervention concerned the strengthening and partial reconstruction of the Chapel after the destructive fire of 1997, and was completed in 2018 (Fig. 6).

The project required an analysis and understanding of the initial concept of the complex structure, and in particular of its dome, made of marble and brickwork, linked together by many iron ties, with the addition of perimeter cerclage ties at many levels. All the iron ties were strongly affected by the fire, which caused the rupture of the main perimeter cerclage at the base of the dome crossing the main windows of the drum.

The structural analysis was performed on the basis of a refined finite-elements model (Fig. 7).

The rehabilitation, besides the strengthening of the masonry and the connected marble artifacts, which were in part replaced with new artifacts made of the same type of marble (as e.g. the majority of bearing columns and pilasters), included the substitution of the original iron ties with new ties made of stainless steel and the insertion of roads to connect the dome to the Cathedral for the purpose of seismic improvement. The new perimeter cerclage ties include head anchoring systems allowing the control of the tension and re-tensioning interventions³⁴.

³⁴ G. Macchi, «Per stupire gli intelletti e rendere gli spettatori atterriti». *Cappella guariniana della Sindone: analisi della concezione strutturale*, in «Memorie dell'Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali», Vol. 38-39 (2014-2015). P. Napoli, *Monitoraggio, sperimentazione e progetto di restauro strutturale della Cappella Guariniana della S. Sindone a Torino*, CIAS-Centro Internazionale di Aggiornamento Sperimentale-Scientifico, Seminario sul tema «Evoluzione nella Sperimentazione per le Costruzioni», 2013, pp. 173-189. The main actors of the project and control of works were G. and S. Macchi, V. Nascè, P. Napoli, G.C. Gonnet, W. Ceretto *et al.*



Fig. 6. Cappella della Sindone (Chapel of the Holy Shroud). Original drawing by Guarini and internal view of the dome after restoration.

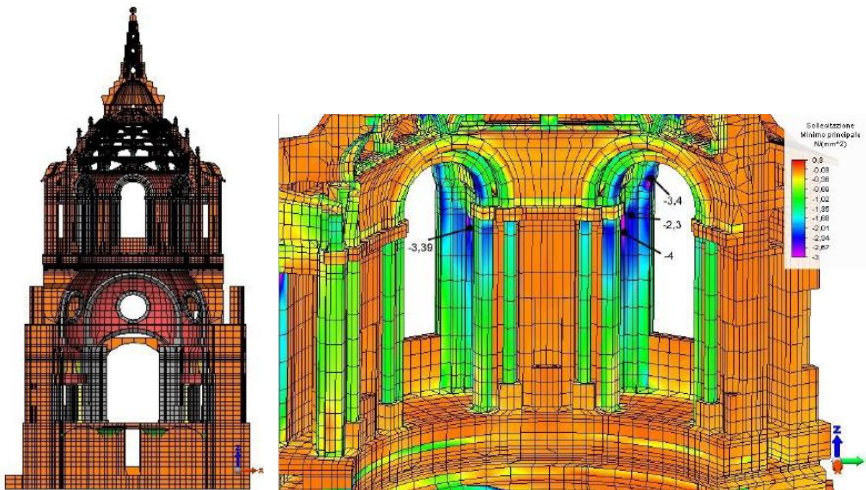


Fig. 7. Cappella della Sindone (Chapel of the Holy Shroud). Finite-element model for the structural analysis (left) and results of the analysis at the level of the windows of the dome (right). *Courtesy of Paolo Napoli.*

Collegio dei Nobili, then Palace of the Academy of Sciences and home of the Egyptian Museum

The Collegio dei Nobili was conceived by Jesuit Carlo Maurizio Vota under influence of Guarino Guarini (1624-83). Construction of the Palace was started in 1679 by Michelangelo Garove (1650-1713), most probably with a supervision by Guarini, under the patronage of Duchess of Savoia Maria Giovanna Battista (Fig. 8).

In 1773 the Savoia abolished the Jesuit order and as a consequence the College was closed in 1796. The left wing of the palace was given to the Academy of Sciences, founded in 1783. The main part of the building hosted museums and art galleries, with a prevailing presence of Egyptian art after the acquisition in 1824 of the Drovetti collection, which became the core of the Egyptian Museums currently occupying the whole part of the building, with the exception of the part pertaining to the Academy of Sciences.

Two major interventions of structural rehabilitation were performed in the last part of past century.

a) Strengthening of the columns of the atrium

The palace atrium is characterised by the presence of four very slender columns made of superimposed stone cylindrical elements of differing diameters. The two columns towards the courtyard are, according to a rather unusual scheme, located on the axis of the main inside wall which extends from the second floor to the top of the roof. In 1981 signs of static disorder were detected with the appearance of a localised break of the stone moulding of the base of one of the columns.

A careful load analysis showed high loads and stress values on the two columns incompatible with current safety criteria for structural elements of this type. A series of non-destructive tests carried out on the column elements using ultrasound equipment gave results that were characterised by notable dispersion, so that the presence of internal damage in the stone elements (initiation of cracks) could not be excluded. The combination of these results caused concern regarding the building's condition of stability, in consideration also of the use of the building as a museum open to the public, and led to the adoption of precautionary measures (provisional subsidiary steel support structure, Fig. 9) in preparation for strengthening of the columns.

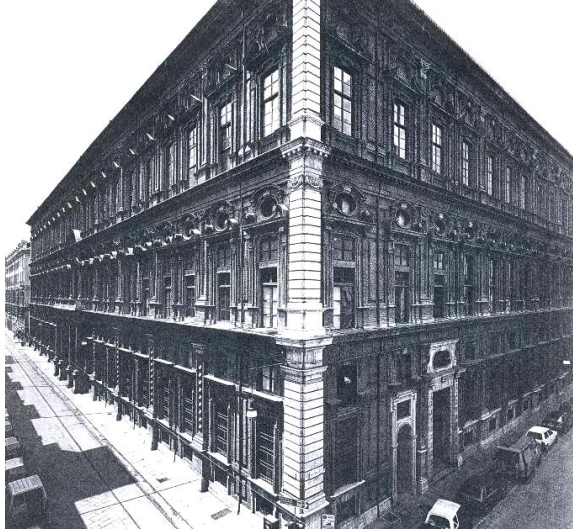


Fig. 8. Collegio dei Nobili, then Palace of the Academy of Sciences and home of the Egyptian Museum.

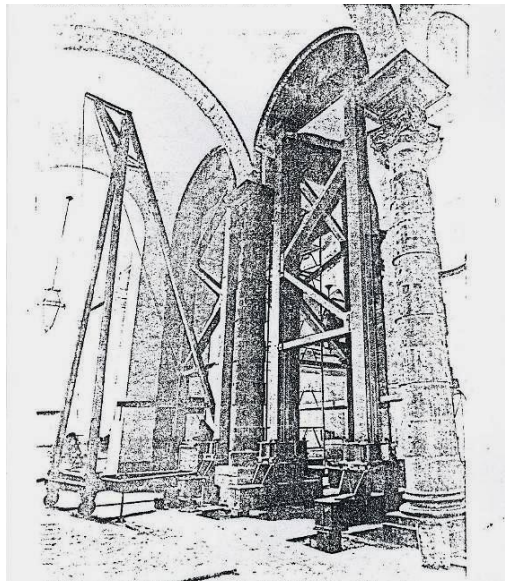


Fig. 9. Provisional subsidiary steel support structure.

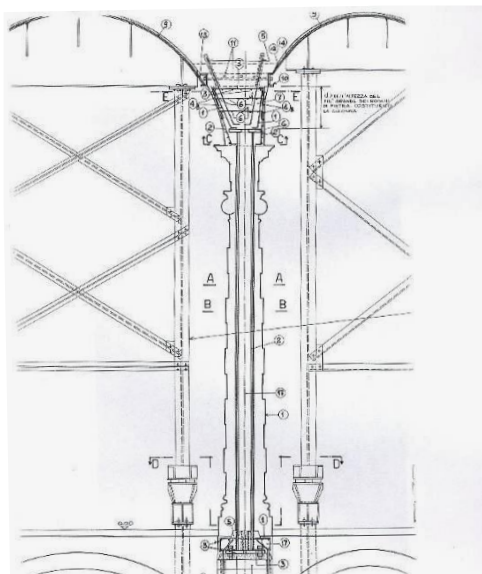


Fig. 10. The stone column reinforced with the insertion of the tubular steel column.

The definitive strengthening operation³⁵ (1990) consisted in the insertion of a tubular steel column, bearing the entire load, inside the two stone columns supporting the greatest loads (Fig. 10). The intervention required the removal of the original columns (after forcing the subsidiary structure with jacks placed at the base of its pillars, in order to remove the loads from the stone columns), the coring of their stone cylindrical elements before repositioning them around the steel columns.

The essential condition which was observed during the whole process was to always guarantee the palace safety and unrestrained access of the public to the museum collections, also during the delicate operations of definitive strengthening.

b) Architectural and structural renovation of the back wing of the Egyptian Museum (Ala Schiaparelli)

The project aim was to provide significant wider usable surfaces, for both exhibition purposes and the housing of administrative offices for the Egyptian

³⁵ The provisional subsidiary steel support structure, already conceived to allow the final strengthening intervention was designed by V. Nascé. The structural project for the final strengthening intervention (1986-1990) was redacted by Giulio Pizzetti, with the author and Giovanni Losana.

Museum, through the construction of two underground floors (which did not exist in the original building), the lower one for technical installations, and the addition within the building of one more floor aboveground.

In the essence only the two principal front and back masonry façades would be maintained.

The two main constraints were represented by 1) the presence at the ground floor of the Ellesija Temple³⁶, and 2) the fact that the back façade was founded on the foundations of the Roman walls of the ancient city *Augusta Taurinorum*, whose base is located at - 4.25 m with respect to the ground level, while excavations had to be undertaken until a depth of - 10.35 m.

The indications provided by the Superintendent of Cultural Heritage were a) the need to preserve the integrity of the Temple as originally reassembled, and b) the need to guarantee the conservation of both masonry façades, and, in particular, the integrity of the foundations of the Roman walls under the back façade.

With reference to these two aspects representing the main constraints of the structural rehabilitation intervention³⁷, the following strategies, among others, were established in the complex sequence of construction phases:

- use of a curtain of micropiles for the protection and support of the Roman walls foundations during the excavations, the curtain being subsequently incorporated in the new reinforced concrete structures, and of micropiles drilled through the Roman wall foundations for the support of the new reinforced concrete columns placed above the foundations,
- provisional lifting of the Ellesija Temple to allow the excavation process and the subsequent construction of the reinforced concrete structures of the ground floors,
- construction of four provisional wells for supporting the temple and the apparatus for its provisional lifting.

³⁶ The Ellesija Temple comes from Upper Egypt, south of Aswan along the Nile Valley now covered by the waters of Lake Nasser. It was taken in agreement with UNESCO and given in 1961 as a gift to the Egyptian Museum in Torino; other temples belonging to the same environment and different eras are now in New York, Leiden and Madrid. The temple was constructed by Tutmose III (18th Dynasty, New Kingdom, 1479-1425 BC) and renovated by Ramses II in 1250 BC. The temple was cut in pieces, transported to Turin and rebuilt in the ground floor (no underground floors were present at the date) of the back wing (Ala Schiaparelli) of the Museum.

³⁷ The project (1987-1990) for the structural rehabilitation intervention was redacted by Giulio Pizzetti and the author with Giovanni Losana, with the consultancy of Michele Jamiolkoski and IG Ingegneria Geotecnica Consulting Engineers for soil mechanics and foundations aspects. The procedures for the raising of the Ellesija temple were defined by Giorgio Garbaccio. Franco Levi acted as structural engineering consultant for the financing Institution.

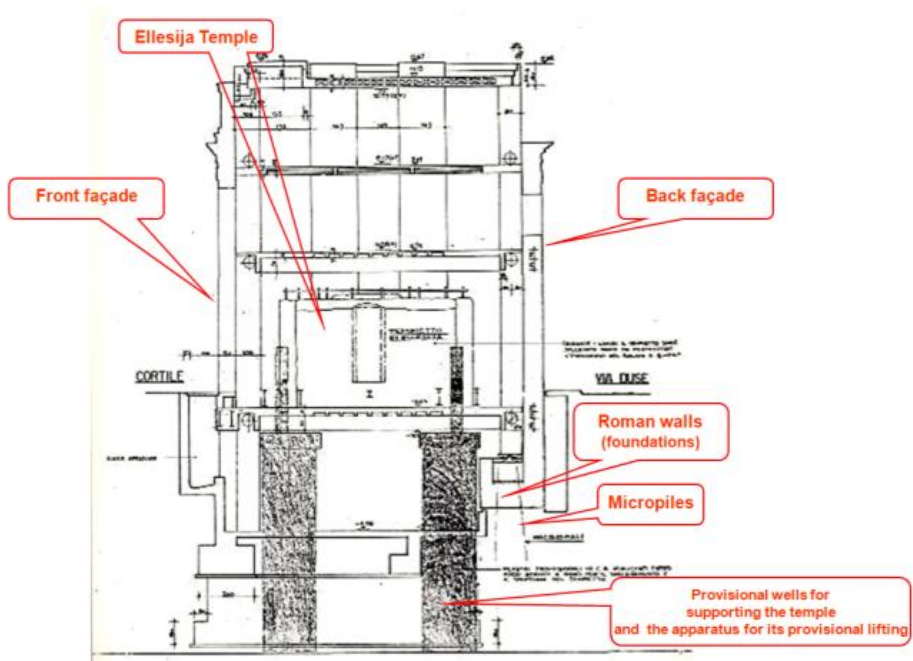


Fig. 11. Cross section of the Ala Schiaparelli with indication of the structural interventions.



Fig. 12. Front façade of the Ala Schiaparelli during the structural interventions.

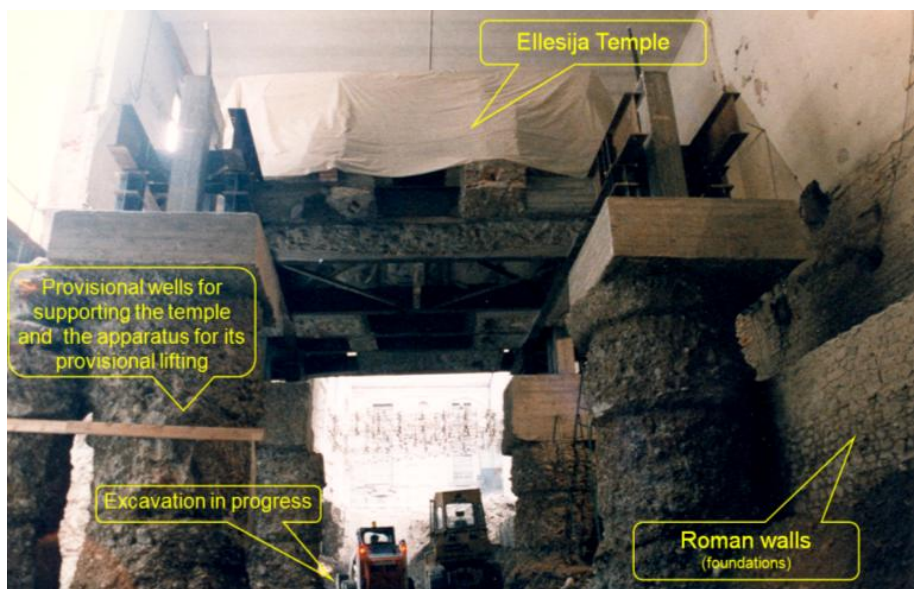


Fig. 13. Excavation under the Ellesija Temple.

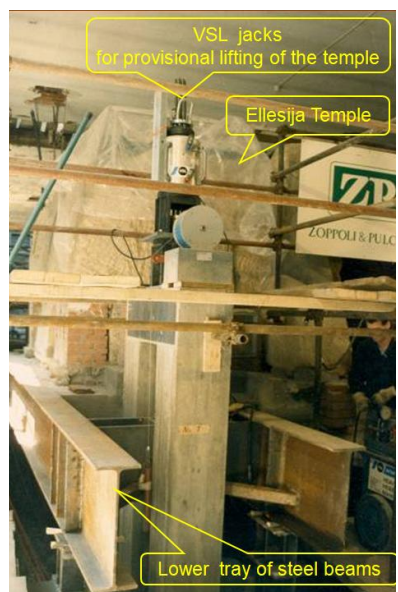


Fig. 14. The apparatus for the provisional lifting of Ellesija Temple.



Fig. 15. Ellesija Temple: final setting and interior decoration.

The apparatus for lifting the Temple consisted in a tray of steel beams placed underneath the Temple and raised through a system of vertical tendons and jacks placed on reinforced concrete pillars built on the top of the four provisional wells. The above complex strategies are documented in Figures 11 to 15.

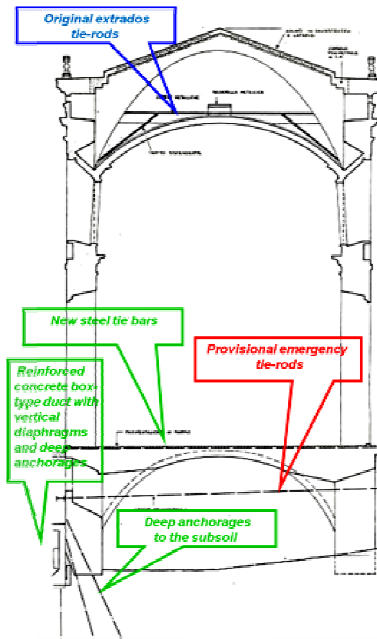
Royal Palace at Venaria Reale – Galleria di Diana (Filippo Juvarra 1716)

A last interesting case study of structural rehabilitation intervention in Turin baroque architectural heritage concerns a strengthening intervention in the Galleria di Diana built by Filippo Juvarra at the Royal Palace of Venaria Reale, one of the most ambitious royal palaces in the wide group of country residences of the Savoia dynasty around Turin (Fig. 16).

On the occasion of an excavation in the internal courtyard along the side of the Galleria for some preliminary retrofitting interventions and installation



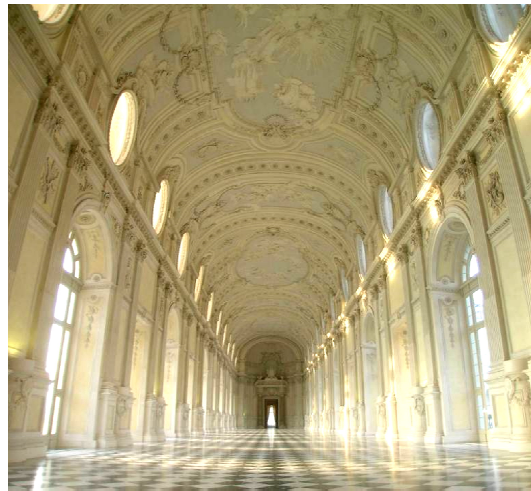
Fig. 16. Royal Palace at Venaria Reale. Main building by A. Castellamonte at the center and the Galleria di Diana at its right.



a



b



c

Fig. 17. Galleria di Diana at Venaria Reale; a: Original inverted tie-rods in the extrados of the vault (blue), Emergency tie-rods (red), Final tie-bars and deep anchorages of the concrete duct to the subsoil (green); b: Placing of the final tie-bars in the floor of the Galleria; c: the Galleria after the structural rehabilitation intervention.

of an heating system, in 1986, for a reuse of the Palace which was at the time almost abandoned, an important longitudinal crack opened in the middle of the ground floor structure of the Galleria. This was due to the loss of the containment effect of lateral soil, and evidenced the low efficacy of the inverted tie-rods placed by Juvarra, for understandable aesthetical reasons, at the extradados of the upper vault of the Galleria.

The emergency intervention consisted in the provisional application of high strength steel tie-rods at the level of the underground floor. Finally permanent new high strength steel tie-bars were inserted in the floor of the Galleria and the reinforced concrete duct, supported by vertical diaphragms, which was built for the installations of the pipes of the heating system, was anchored to the underground soil with long tie-rods³⁸.

Turin Exhibition Center, Hall B (Pier Luigi Nervi, 1948-1954)

The Hall B of Turin Exhibition Center designed by the famous engineer and structural artist Pier Luigi Nervi (1891-1979) represents a celebrated masterpiece of contemporary structural architecture (Fig. 18)³⁹.

After years of abandon, a recent project of retrofitting and reuse for the Turin Civic Library is currently under way, in the frame of a wider program of recovery of the entire complex of the Exhibition Center⁴⁰. In this context a wide program of structural modelling and analyses and structural health monitoring of Hall B has been undertaken⁴¹, in order to explore the aspects of structural reliability and durability of this very special daring spatial architectural

³⁸ The project for the emergency intervention and the final structural rehabilitation (1986-1987) was redacted by Giulio Pizzetti and the author with Giovanni Losana, with the consultancy of Michele Jamiolkoski for soil mechanics and foundations aspects.

³⁹ C. Olmo, C. Chiorino (Eds.), *Pier Luigi Nervi. Architecture as Challenge*, Silvana Editoriale, Milan 2010; J.F. Abel, G. Arun, M.A. Chiorino, *Special Double Issue on Pier Luigi Nervi: Preface by the Guest Editors*, in «Journal of the IASS International Association for Shell and Spatial Structures», Vol. 54, No. 2 & 3, September 2013, pp. 79-86.

⁴⁰ R. Ceravolo, C. Chiorino, M.A. Chiorino, A. Isola, S. Isola, E. Lenticchia, L. Luciani, R. Moneo, *Preservation and rehabilitation strategies for the shell and spatial structures by Nervi and Morandi of the Turin Exhibition Center*, Proceedings of the IASS Symposium 2018, July 16-20, 2018, MIT, Boston, USA.

⁴¹ E. Lenticchia, R. Ceravolo, P. Antonaci, *Sensor Placement Strategies for the Seismic Monitoring of Complex Vaulted Structures of the Modern Architectural Heritage*, Hindawi Shock and Vibration Vol. 2018; R. Ceravolo, G. De Lucia, E. Lenticchia, G. Miraglia, A. Quattrone, F. Tondolo, E. Matta, G. Sammartano, A. Spanò, C. Chiorino, G. Bruschi, P. Faccio, A. Nanni, *Challenges in the reuse and upgrade of Pier Luigi Nervi's structures*, 12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions SAHC 2020, P. Roca, L. Pelà, C. Molins (Eds.), pp. 71-81.

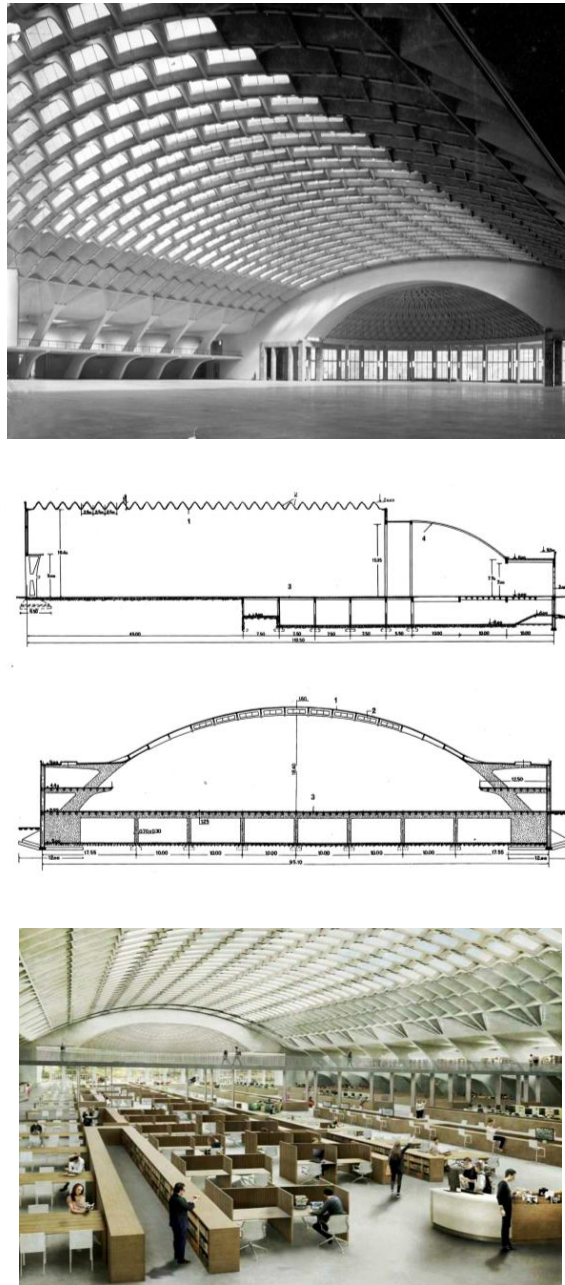
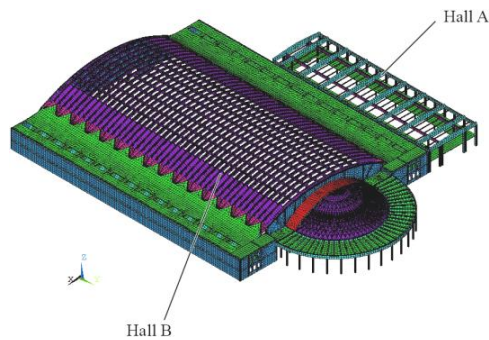
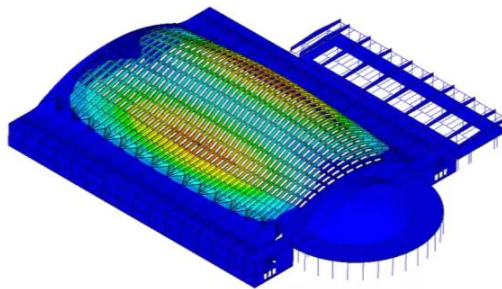


Fig. 18. Turin Exhibition Center, Hall B (Pier Luigi Nervi, 1948-1954). Internal view, longitudinal and transversal cross sections and reuse project.



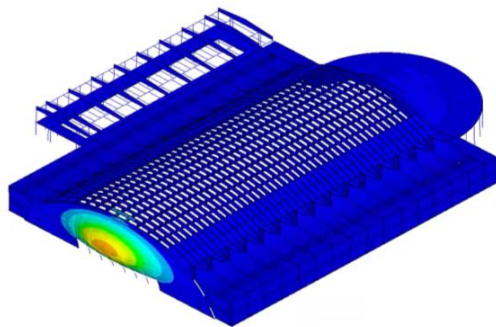
Finite-element model

```
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
FREQ=1.76845
USUM      (AVG)
RSYS=0
DMX =.001267
SMX =.001267
```



First vibration mode

```
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =5
FREQ=2.20335
USUM      (AVG)
RSYS=0
DMX =.002734
SMX =.002734
```



Fifth vibration mode

Fig. 19. Finite element model and vibration modes.

structure, shaped like a cathedral with a huge nave and an apse, characterized by a first application at large scale by Nervi of his innovative ferrocement construction system, and to establish a proper Conservation Plan⁴².

In what concerns structural reliability aspects attention is being paid in particular to the structural response to seismic actions (which were not considered in the original project of the Hall according to the technical standards at the time of its construction), in order to respond to the safety requirements of current guidelines, with special regard to the buildings used as public spaces, as in case of a library.

For this purpose a finite element model of the structure has been established, and some preliminary dynamic analyses have been performed (Fig. 19).

These analyses show that the principal vibration modes fall in the amplification zone of the seismic response spectrum. The most critical responses are those related to the undulated thin shell vault, the out-of-the-plane movements of the tympani and the presence of the apse, which cause an interaction with the main body of the hall. Also, the preliminary bending and shear checks show that most elements, in particular inclined pillars, are unsafe with respect to shear.

The dynamic analyses are also required to define an optimal sensor placement strategy (see note 41). When an adequate sensor placement will be performed useful information will be obtained for the updating of the numerical models of the structures.

Additionally, onsite inspections and non-destructive or partially destructive tests and laboratory tests for the evaluation of the material (concrete and steel) properties are currently being started and will provide further important information to improve the computational models and the evaluation of the structure performance, its residual service life, and the need and type of rehabilitation and upgrading interventions, with regard in particular to the seismic actions.

A special attention is being dedicated to the durability aspects in consideration of the very special characteristics of ferrocement construction system – widely used in the spatial structure of Hall B – characterized by very thin structural elements with a dense mesh of thin reinforcing bars and extremely thin concrete cover, while the concrete mortar is characterized by significantly high contents of cement.

The discussion of all these aspects goes beyond the scope of this lecture and reference is made, besides the extremely wide literature and set of guideline

⁴² The Conservation Plan for the structures by Nervi of both Hall B and the nearby smaller Hall C of Turin Exhibition Center has been awarded the Keeping It Modern 2019 Grant of the Getty Foundation, Los Angeles, USA.

documents referring to the conservation and strengthening of reinforced concrete in general⁴³, to some studies and guidelines specifically dedicated to the ferrocement⁴⁴.

In what concerns durability aspects of ferrocement, a recent research has been developed at the Northwestern University in USA in the frame of a graduation thesis of the Politecnico di Torino⁴⁵. In a brief synthesis it may be said that this research has been developed at the level of the nanoscale of the ferrocement material, and that the use of Tetraethyl Orthosilicate as protective material seems a promising option to improve the durability of ferrocement.

8. The case study of the Sanctuary of Vicoforte with its large oval dome

In this concluding part reference is made to a relevant case study concerning the contribution of structural engineering and geotechnics to the conservation of a prominent monument of the architectural heritage: the Basilica «Regina Montis Regalis», also known as Sanctuary of Vicoforte, located near Mondovì in the province of Cuneo in northwest Italy. The Basilica is a monument of great historical and architectural significance, owing its fame primarily to its big masonry oval dome (axes 37.23 m x 24.89 m), the largest of this shape the world over, and one of the largest domes as a whole (Fig. 20)⁴⁶.

⁴³ See e.g. the extended list of guidelines developed at the European level of CEN, the European Committee for Standardization, by CEN/TC 104 – *Concrete and related products: CEN/TC 104 EN 1504 – Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity* – Part 1 to 10, 2004-2017. See also the technical and guidance documents published by *fib* International Federation for Structural Concrete and ACI American Concrete Institute. In recent years a wide use of composite materials has been adopted for the strengthening of reinforced concrete constructions, and in particular for their upgrading to resist to seismic actions, and an extended literature and guidance documents have been published e.g. by *fib* and ACI. For a brief overview of these composite materials see e.g. L. Coppola, *I materiali compositi per il rinforzo statico e l'adeguamento sismico delle strutture in cemento armato (Composite materials for structural rehabilitation and upgrading with regard to the seismic actions)*, Section 8.6 (pp. 202-212) in *Il Restauro dell'Architettura Moderna in Cemento Armato (Restoration of Modern Architecture in Reinforced Concrete; in Italian)*, Hoepli, Milan 2015.

⁴⁴ ACI 549R-18. *Report on Ferrocement*, ACI American Concrete Institute 2018; ACI 549.1R-18: *Design Guide for Ferrocement*, ACI American Concrete Institute 2018.

⁴⁵ A. D'Alessandro, D.J. Corr, S.P. Shah, *Use of Tetraethyl Orthosilicate to Improve Durability of Ferrocement*, in «ACI Materials Journal», Vol. 116, N° 6, November 2019.

⁴⁶ M.A. Chiorino, A. Spadafora, C. Calderini, S. Lagomarsino, *Modeling strategies for the world's largest elliptical dome at Vicoforte*, in «International Journal of Architectural Heritage:

Since the earliest stages of construction, started in 1596 on the basis of a project by architect Ascanio Vittozzi (1583-1615), the large and massive oval building of the Basilica was adversely affected by important absolute and differential settlements of foundations, due to an unfortunate selection of the site, which is characterized by an inclined (from east-northeast to west-southwest) marlstone bed-rock surmounted by soft clay-silt layers of increasing depth (only in the north-east part the foundations of the Basilica reach the marl bed-rock; see Fig. 21 left). Construction was slowed down and almost stopped along the 17th century, while in the early 18th century works were resumed and entrusted to architect Francesco Gallo (1672-1750), who demolished the previously built part of the drum, levelled its base, and erected a new slender and transparent drum with closely spaced window openings. The construction of the shallow baroque ribbed masonry dome, with wide round openings at its base and contained by a system of circular iron tension rings located within the masonry at three different levels in this same zone of the dome, was started in 1731 and the Basilica was inaugurated in 1735 on the completion of the lantern top⁴⁷.

The dome-drum system suffered since the beginning from significant structural problems, related in part to the additional settlements induced by the new built masses, and, to a large extent, to the daring structural configuration of the system itself. During the years following the construction stage an extended system of wide cracks developed along the meridians of the dome and the drum (Fig. 21 right), progressively transforming the structural system into an ensemble, typical of these masonry architectural configurations, of slender masonry slices, separated by meridian plans and converging to the top of the dome. The significant lateral thrusts exerted by these approximately arch shaped structural elements, insufficiently opposed by the iron tension rings, was evidenced by significant shear-type diagonal cracks in the vertical walls of the eight slender buttressing vertical elements located at the perimeter of the drum and the dome, part of them incorporating the ascending stairs.

In 1983, concerns over these severe settlement and cracking phenomena affecting the structure prompted the decision to undertake inspection, monitoring, and strengthening interventions. After a survey and investigation campaign designed to acquire detailed data on the conditions of the foundations, the geo-technical aspects of the site, the mechanical parameters of the masonry, the crack

Conservation, Analysis, and Restoration», Vol. 2, N° 3, July-September 2008, pp. 274-303. As the geometry of the horizontal section of the dome is similar to, but does not correspond exactly to an ellipse, it was recently decided to normally refer to it as an oval dome.

⁴⁷ G. Vacchetta, *Nuova storia artistica del Santuario della Madonna di Mondovì a Vico* (New artistic history of the Sanctuary of the Virgin of Mondovì at Vico; in Italian), Società per gli Studi Storici Archeologici ed Artistici della Provincia di Cuneo, 1984.

widths and distribution, and the geometry of the dome and of the monument as a whole, a strengthening system was put in place (1985–1987). It consisted of 56 active high strength steel tie-bars placed within holes drilled in the masonry at the top of the drum along 14 tangents around the perimeter, and slightly tensioned by jacks. The 14 segments of this perimeter strengthening system are connected each other by steel frames. A monitoring system was set up to survey crack propagation, deformations of the structure as well as stresses in the tie-bars (re-tensioned in 1997)⁴⁸. Although the strengthening intervention was of an undoubtedly invasive type, proper design choices were adopted to conceal its structural components. From the structural point of view, the intervention proved to be effective to contain lateral thrusts and to govern the tendency of cracks to further expand.

Along the last more than one decade a new intense survey, investigation and research program was established on the geometry of the construction, its constitutive aspects, the physic-mechanical characteristics of the materials, and the modelling and analysis of the structural responses in the static domain under the action of gravity loads and foundation settlements.

In addition, concerns about the safety of the monument with respect to seismic events – in the context of the new strategies discussed in the previous sections for the evaluation and mitigation of seismic risk of architectural heritage developed at national and international level – prompted the decision to develop a new wide scope investigation program. This was done in the frame of an agreement with Italian Ministry for Cultural Heritage aimed at testing the practicality of the specific Italian Guidelines on this subject⁴⁹ in the case of outstanding monuments, selecting the Basilica at Vicoforte as a case study for this evaluation.

The results, at the date, of the program are documented in detail in an extended series of papers⁵⁰ and briefly summarized in the following.

⁴⁸ M.A. Chiorino, A. Spadafora, C. Calderini, S. Lagomarsino, *Modeling strategies for the world's largest elliptical dome at Vicoforte*, cit.

⁴⁹ See reference in note 2. See also Section 4.

⁵⁰ See among others: M.A. Chiorino, A. Spadafora, C. Calderini, S. Lagomarsino, *Modeling strategies for the world's largest elliptical dome at Vicoforte*, cit.; C.G. Lai, M. Corigliano, H. Sánchez, L. Scandella, *Definition of seismic input at the «Regina Montis Regalis» Basilica of Vicoforte, Northern Italy*, IUSS Press Pavia 2009; L. Scandella, C.G. Lai, D. Spallarossa, M. Corigliano, *Ground shaking scenarios at the town of Vicoforte, Italy*, in «Soil Dynamics and Earthquake Engineering», 31, 2011, pp. 757-772; M.A. Chiorino, R. Ceravolo, A. Spadafora, L. Zanotti Fragonara, G. Abbiati, *Dynamic Characterization of Complex Masonry Structures: The Sanctuary of Vicoforte*, in «International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration», Vol. 5, N° 3, 2011, pp. 296-314; M.A. Chiorino, C. Casalegno, *Survey and structural modeling for the reliability assessment of the world's largest elliptical dome at Vicoforte, Keynote lecture*, Proceedings of «Domes in the World». International Congress, Florence, Italy, March 19-23, 2012, CD; M.A. Chiorino, R. Ceravolo, C.G. Lai, C. Casalegno, *Survey, seismic*



Fig. 20 (left) External view of the Basilica and (right) the interior of the dome.

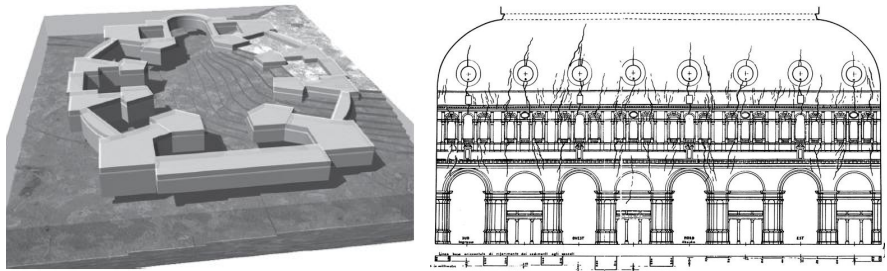


Fig. 21 (left) Axonometric view of the foundations evidencing the inclined marlstone bedrock (dark grey) reached by the foundations of the Basilica only in the north-east part, and (right) cracking pattern of the dome and the drum recorded before the strengthening intervention (planar representation of whole perimeter of the dome, from South at left, to West, North and East at right).

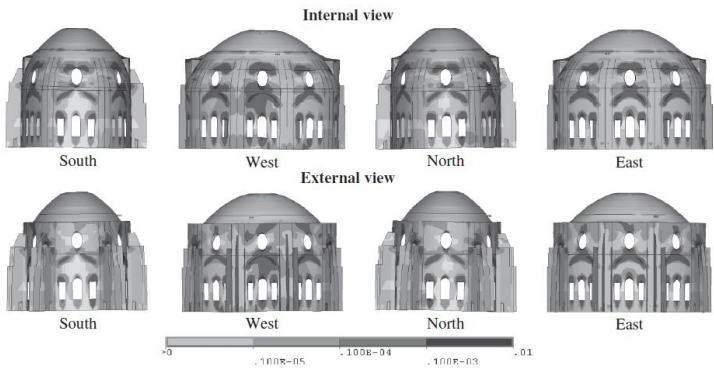


Fig. 22. Non-linear analysis under gravity loads with settlements; principal inelastic strains.

Limit analysis of the dome-drum system under gravity loads

Plastic limit analysis provides a conceptually simple and robust method to estimate the safety of masonry structures introducing the simplifying assumption that considers masonry as a rigid material with no resistance to tensile stresses and adopting the static and/or kinematic approach based on the use, respectively, of the static or kinematic theorems. As such, it has been long applied to the two-dimensional analysis of masonry structures or structural elements for expeditious evaluations of safety levels (see Section 1).

A concise approximate estimation of the safety conditions of the dome-drum system of the Sanctuary of Vicoforte under gravity loads was performed according to these procedures, applying both the static and kinematic approach to investigate, within an ideal planar problem, the stability of the masonry slices (as defined above and corresponding to an assumption of full cracking of the dome-drum system along its meridional plans) located along the major and minor axis⁵¹. Both approaches demonstrate the lack of stability of the dome-drum system in the absence of circular tension stiffening, confirming the central role conferred to the original iron rings to guarantee this

input and structural modeling of the «Regina Montis Regalis» Basilica and large elliptical dome at Vicoforte, northern Italy, in J. Jasieńko (ed.), SAHC 2012, 8th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Wrocław, Poland, October 15-17, 2012, DWE, Wrocław 2012, pp. 1432-1440; G. Ventura, M. Coppola, C. Calderini, M.A. Chiorino, *Three-Dimensional Limit Analysis of the Vicoforte Elliptical Dome*, in «International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration», Vol. 8, N° 5, 2014, pp. 649-669; C. Casalegno, R. Ceravolo, M.A. Chiorino, M.L. Pecorelli, L. Zanotti Fragonara, *Soil-Structure Modeling and Updating of the «Regina Monte Regalis» Basilica at Vicoforte, Italy*, in F. Peña, M. Chávez (Eds.), SAHC 2014, 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Mexico City, Mexico, 14-17, October 2014; R. Ceravolo, G. De Lucia, M. Pecorelli, L. Zanotti Fragonara, *Monitoring of historical buildings: Project of a dynamic monitoring system for the world's largest elliptical dome*, IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS), Trento, Italy, 2015; R. Ceravolo, A. De Marinis, M. L. Pecorelli, L. Zanotti Fragonara, *Monitoring of masonry historical constructions: 10 years of static monitoring of the world's largest oval dome*, in «Structural Control and Health Monitoring», N. 10, 2017; G. Coletta, G. Miraglia, M. Pecorelli, R. Ceravolo, E. Cross, C. Surace, K. Worden, *Use of the cointegration strategies to remove environmental effects from data acquired on historical buildings*, in «Engineering Structures», N. 183, 2019.

⁵¹ A. Reffo, *Applicazioni dell'analisi limite alla verifica delle grandi cupole in muratura: la cupola del Santuario di Vicoforte* (Application of limit analysis to the reliability assessments of large masonry domes: the dome of the Sanctuary of Vicoforte; in Italian), School of Architecture, Politecnico di Torino Master's thesis, 2002; M.A. Chiorino, A. Spadafora, C. Calderini, S. Lagomarsino, *Modeling strategies for the world's largest elliptical dome at Vicoforte*, cit.

stability, and prompting a positive evaluation of the strengthening intervention performed in 1985-1987 through the application of the high strength tensioned steel tie-bars, and of their subsequent re-tensioning operated in 1997, as appropriate safeguard measures. The stabilizing contribution of the original iron tension rings was taken into account in the safety evaluations on the basis of the kinematic approach – in which safety is evaluated in terms of the absolute value ratio between resisting and pushing virtual works Wr and Wp – introducing the assumption of complete plasticization of the rings, so that each point of the rings is considered subjected to a tensile stress equal to the iron yielding strength, and adding the plastic dissipation work of the rings to the sum of the resisting works Wr .

A kinematic limit analysis of the entire dome-drum system was also attempted considering the system subdivided into sixteen separate interacting slices⁵². The safety factors Wr/Wp were first determined for each separate slice as functions of the position (vertical angle α) of the intermediate hinge of their respective collapse mechanisms, adopting the same procedures as above, and without considering, in a first step, the stabilizing contribution of the original tension rings. In this case stability was found, for each one of the four symmetric sectors of the dome, only for the two intermediate slices benefiting of the stabilizing contribution of external buttresses, while the lack of stability was confirmed for the two slices corresponding to the maximum and minimum diameters of the dome.

A tentative approximate evaluation of the global safety factor of the dome-drum system considered as a spatial structure – with account for the interaction between the sixteen separate slices (four slices for each sector), while still ignoring the contribution of the tension rings – was then performed. This was done by adding, for each one of the four symmetric sectors of the dome-drum system, the contributions of each slice to Wr and Wp , and then determining the minimum value of the ratio between these sums as a function of four variables (the positions α of the intermediate hinge for each slice), obtaining an approximate global safety estimation for the entire dome-drum system (Wr/Wp)_{dome-drum} = 1.27.

Finally, the stability of the dome was analyzed considering the contribution of the original iron tension rings by adding, as previously indicated, the plastic dissipation work of the rings to the sum of the resisting works Wr . Significant increases in the safety coefficients were consequently obtained, both in the verification of the stability of the single slices, confirming the result trends of

⁵² G. Ventura, M. Coppola, C. Calderini, M.A. Chiorino, *Three-Dimensional Limit Analysis of the Vicoforte Elliptical Dome*, cit.

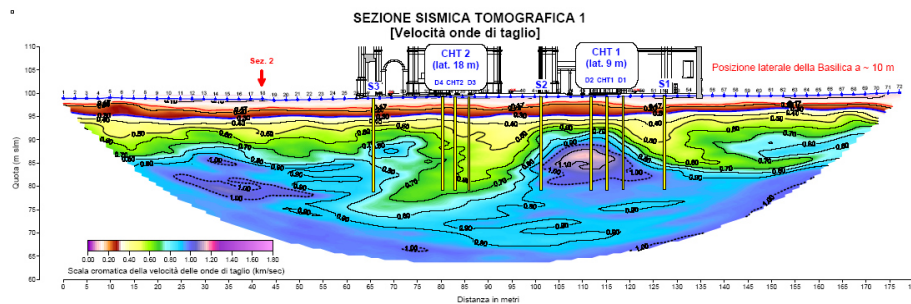


Fig. 23. Seismic tomography for S-waves carried out at the site of the Basilica at Vicoforte.

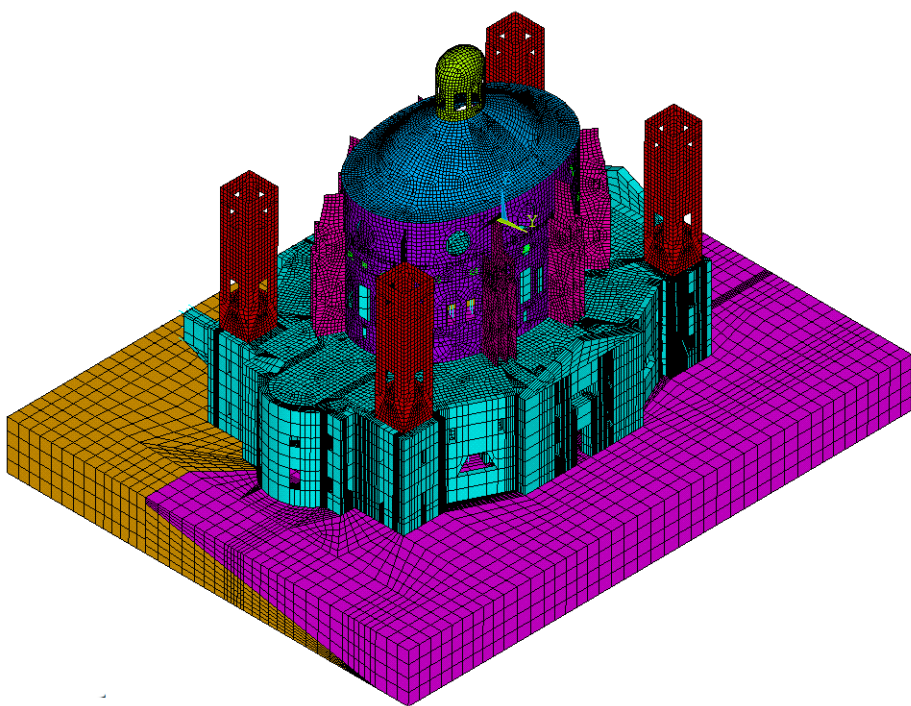


Fig. 24. The finite element model inclusive of the foundation soil layers (clay-silt in purple and marlstone in light brown). The other colours identify the different material used for the different macro-elements within the model.

the above mentioned previous evaluations, and in the estimation of the global safety of the dome-drum system, obtaining an approximate indicative evaluation of the global safety coefficient $(Wr/Wp)_{\text{dome-drum}} = 3.03$.

Further controls were then performed to ensure that the three tension rings, located at different levels, can exhibit simultaneously plastic dissipation work for the assumed mechanisms, checking that the difference between the maximum and minimum strain in the three rings is less than the extension of the plastic plateau being assumed for the iron material⁵³, and attention was paid also to the influence of possible non-uniform strain and stress distribution along the iron rings, due to friction and adherence to the masonry.

A lower indicative value of the global safety coefficient $(Wr/Wp)_{\text{dome-drum}} = 2.08$ is obtained if reference is made to the more restrictive assumption of not taking advantage of the plastic resources of the iron tension rings and the ratio between resisting and pushing works is evaluated for a deformed configuration of the collapse mechanism that brings the most strained ring at initial yielding.

In what concerns the results of all above mentioned evaluations, attention should be paid more to the order of magnitude and general trends of safety levels, than to specific values of safety coefficients, as determined in particular e.g. through the kinematic approach. These values may in fact be debatable, as they depend, among other things, on the way in which – in the definition of the reference ideal planar slices adopted in the computational procedures – the presence of window openings is accounted for, on the simplified assumptions introduced to account for the interaction between the separate slices in the approximate evaluation of the global safety factor of the dome-drum system considered as a spatial structure, and on the perhaps too schematic and non conservative assumption introduced for the restraint conditions at the base dome-drum system (a fixed hinge, without horizontal displacements) to model the effective, although significant, containing action exerted by the underlying parts of the monumental structure.

Non-linear FEM analyses with shell elements of the dome-drum system under gravity loads and with account for settlements

This approach, aimed at a more refined and realistic analysis of the mechanical response of the dome-drum system and at an interpretation of its historical damage prior to the strengthening intervention, incorporates within a finite element method (FEM) analysis a non-linear anisotropic damage constitutive

⁵³ Experimental checks in terms of stress-strain diagrams on the original iron material still to be performed. Refer to the original paper for further details.

model for the masonry capturing the principal non linear aspects of its behaviour⁵⁴. This constitutive model, which considers the different in-plane damage mechanisms affecting both the mortar joints and the blocks (both friction and cohesive mechanisms), was implemented in non-linear 4-node shell elements with transverse shear strain capability. The constitutive equations were implemented in a general-purpose finite element code⁵⁵. The original iron rings are modelled by nonlinear link elements for which a Von Mises strength criterion is adopted.

Two types of analysis were performed. In the first one, only the weight of the dome-drum system, plus the lantern, was considered. In the second, the effects of the differential settlements of the foundations, as determined from the optical leveling performed at the base of the drum, were also considered, and applied as vertical imposed displacements to the nodes at the base of the drum⁵⁶.

The results of this second analysis shown in Figure 22 evidence the regions of more intense masonry damage, which is responsible for the development of cracks. In particular, the west side of the dome-drum system, characterized by higher values of the differential settlements, appears more damaged than the east side, which corresponds to the cracking pattern recorded before the strengthening intervention (Fig. 21 right).

Based on the same computational instrument incorporating the non-linear anisotropic damage constitutive model for the masonry, an incremental FEM analysis under gravity loads was also performed⁵⁷ for estimating the multiplier of the self weight at collapse, for the sake of comparison to the results, in terms of safety levels, obtained through the limit analysis approaches described in the preceding section. As expected, further larger values of the safety margins were detected⁵⁸, with respect also to the evaluations based on the global

⁵⁴ C. Calderini, S. Lagomarsino, *A continuum model for in-plane anisotropic inelastic behaviour of masonry*, in «Journal of Structural Engineering», 134/2, 2008, pp. 209-220.

⁵⁵ ANSYS 2003.

⁵⁶ M.A. Chiorino, A. Spadafora, C. Calderini, S. Lagomarsino, *Modeling strategies for the world's largest elliptical dome at Vicoforte*, cit.; M.A. Chiorino, C. Casalegno, *Survey and structural modeling for the reliability assessment of the world's largest elliptical dome at Vicoforte*, cit.

⁵⁷ G. Ventura, M. Coppola, C. Calderini, M.A. Chiorino, *Three-Dimensional Limit Analysis of the Vicoforte Elliptical Dome*, cit.

⁵⁸ Different from the assumption adopted in the limit analysis approach discussed in the preceding section, two different assumptions were introduced in what concerns the restraint conditions at the base of the drum, i.e. a) free horizontal displacements of all nodes at the base, and b) inhibited horizontal displacements. This second assumption, for which higher values of the multiplier of the self weight at collapse were detected, is presumably closer to reality by considering the stiffness of the underlying structures.

kinematic limit analyses of the entire dome-drum system. This confirms that the simplest two dimensional limit analyses performed on single slices of the dome-drum system give in any case conservative safety evaluation results compared to all other more refined approaches, providing the lowest values for the estimated safety margins.

Therefore, even if accurate modelling procedures by most recent techniques appear as valuable tools for more refined evaluations of the safety margins, intended also to contribute to develop proper rehabilitation strategies aiming at limiting at best any possible required intervention on the architectural heritage, the simplest stages of limit analysis methodology discussed in the previous section seem to be able of giving useful first indicative conservative estimates of the global safety coefficient of a complex monumental structure like the dome-drum system of the Basilica.

Evaluation of seismic risk

Although Vicoforte is located in an area of moderate seismicity with respect to the whole Italian region (third level out of four groups ordered according to decreasing intensity), albeit not far from more active areas, the seismic risk of the Basilica deserves to be accurately investigated, and, where needed, proper strategies should be explored for its possible reduction.

This is due to the consideration, on one side, of the great historical, architectural and structural significance of the monument, and, on the other side, of its apparent vulnerability to seismic excitations, related in particular to the daring configuration of its dome-drum structural system. In fact, while these macro-elements are characterized in general by a high seismic vulnerability, as demonstrated by relevant damage or full destruction suffered in many cases on the occasion of significant seismic events in past and recent years (with special regards to Italy and its important architectural heritage of religious buildings), in the specific case of this important monument the very special configuration of its slender and transparent dome-drum system – where the dome is particularly shallow – magnifies this vulnerability.

A further consideration concerns the influence on the seismic response of the unfavourable geotechnical situation of the specific site, with special regard to possible amplification effects on the seismic input induced by the soft subsoil layers.

The first steps of this new investigation and research process regarded the definition of the seismic input at the site where the Basilica is located and the dynamic characterization of the structure. Work is still in progress in what concerns the use of these results in the subsequent phases of structural dynamic analysis of the monument, and of evaluation and, the case being, mitigation of its seismic risk.

1) Definition of seismic input at the base of the monument

The research was articulated in two phases. The first phase was devoted to the execution of the site-specific Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) and the Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA), both under the assumption of stiff ground and level topographic condition. The DSHA was adopted to define the worst shaking scenario which would occur in the future, compatibly with the tectonic and seismic setting of the region. The probabilistic approach provided more severe ground shaking scenarios with respect to deterministic methods. Nevertheless, PSHA and DSHA are both important as they provide complementary information to the predicted hazard.

The second part of the research treated the investigation of the seismic site response through 1D stochastic and 2D deterministic approach, in order to evaluate possible amplification effects due to localized lithostratigraphic characteristics at the site. To this aim, a 3D subsoil model was constructed integrating the results of advanced geotechnical investigation campaigns including seismic tomography (Fig. 23). Finally, as an output of the study, dynamic impedances at the foundations of the Basilica were computed to be used in soil structure interaction analysis⁵⁹.

2) Dynamic characterization of the structure

The characterization of dynamic behaviour is an essential part of structural monitoring and damage control, especially in the case of complex monumental masonry buildings. Although they cannot be directly correlated with a specific safety level, dynamic investigations contribute to the updating of valid models for the reliability assessment stage of these types of structures and the optimization of prospective strengthening interventions, and they are indispensable instruments for the formulation of accurate forecasts as to their seismic behaviour.

A data acquisition campaign was performed in 2008 using tri-axial geophones and piezoelectric accelerometers. Instruments were positioned according to different acquisition setups and different sampling frequencies were used in order to arrive at a global identification of the structure. Wind, vehicle traffic and bells served as sources of excitation.

The next step was a model updating and identification process assisted by a finite element model constructed using the ANSYS computation code. In a first stage, the structure of the monument was assumed to be clamped at the base, disregarding soil-structure interaction⁶⁰. In a second stage, this aspect

⁵⁹ C.G. Lai, M. Corigliano, H. Sánchez, L. Scandella, *Definition of seismic input at the «Regina Montis Regalis» Basilica of Vicoforte, Northern Italy*, cit.; L. Scandella, C.G. Lai, D. Spallarossa, M. Corigliano, *Ground shaking scenarios at the town of Vicoforte, Italy*, cit.

⁶⁰ M.A. Chiorino, R. Ceravolo, A. Spadafora, L. Zanotti Fragonara, G. Abbiati, *Dynamic*

was given proper attention incorporating in the finite element model the foundation soil layers and the foundation structures of the monumental building (Fig. 24). In this case, the dynamic characterisation of the building allowed the identification and classification of 10 vibration modes and the calibration of a FE model that takes into account soil-structure interaction and dynamic effects⁶¹.

Conclusions

The lecture discussed the significant and progressively increasing role of structural and geotechnical disciplines in the strategies for conservation and rehabilitation of architectural heritage, analyzing first the gradual recognition of this role within principles and guidelines incorporated in charters and documents formulated at national and international level, in particular in recent years.

Specific attention was then paid to the contribution of these disciplines to the analyses of historical constructions and monumental buildings in the static domain for reliability assessments under gravity loads, as well as to the analyses in the dynamic domain for both model updating processes and the evaluation of the seismic risk.

Reference was made to a wide series of case studies, principally of historical architecture, with a special and more extended attention to the case study of the Santuario di Vicoforte, a monumental building of great historical, architectural, and structural significance, characterized by one of the largest masonry domes in the world, and by far the largest oval one. The lecture presented the results, at the date, of a wide investigation and research program, intended to propose the case study of Vicoforte as a reference case at national and international level for the structural conservation of important monuments, with specific attention to their protection from seismic hazards.

Reference was also made to one eminent example of contemporary structural architecture, the Hall B of the Turin Exhibition Center by Pier Luigi Nervi.

Characterization of Complex Masonry Structures: The Sanctuary of Vicoforte, cit; M.A. Chiorino, R. Ceravolo, C.G. Lai, C. Casalegno, *Survey, seismic input and structural modeling of the «Regina Montis Regalis» Basilica...*, cit.

⁶¹ C. Casalegno, R. Ceravolo, M.A. Chiorino, M.L. Pecorelli, L. Zanotti Fragonara, *Soil-Structure Modeling and Updating of the «Regina Monte Regalis» Basilica at Vicoforte, Italy*, cit.

Acknowledgments

The author is particularly grateful to the research group of Dynamics and Seismic Engineering of the Department of Structural, Geotechnical and Building Engineering DISEG of the Politecnico di Torino coordinated by Rosario Ceravolo, and in particular among others to Erica Lenticchia, Gaetano Miraglia, Carlo Casalegno, Giorgia Coletta, Marica Pecorelli, Alberto Spadafora, and Cecilia Surace, for their intense activity and the information provided for the two case studies of the Turin Exhibition Center and of the Sanctuary of Vicoforte.

The author is also grateful, for the information provided for these and the other case studies discussed in the lecture, to his colleagues of Politecnico di Torino: Paolo Napoli, Vittorio Nascé, Giulio Ventura, and Michele Jamiolkowski (National Member of the Turin Academy of Sciences), of the University of Pavia: Carlo Lai and Giorgio Macchi (National Member of the Turin Academy of Sciences), of the University of Genoa: Sergio Lagomarsino and Chiara Calderini, and to Takayoshi Aoki of Nagoya City University and Luca Zanotti Fragonara, formerly of Politecnico di Torino and currently Cranfield University.

For the case study of the Turin Exhibition Center by Pier Luigi Nervi the cooperation of the Pier Luigi Nervi Project Foundation and the stimulus of the Keeping It Modern award of the Getty Foundation have played a crucial role.

The cooperation and assistance of the Rectors (the late don Bartolomeo Bessone and currently don Francesco Tarò) and of the Administration of the Sanctuary of Vicoforte (Geom. Martino), and the sponsoring of the related conservation and research project by the Fondazione Cassa di Risparmio di Cuneo, are gratefully acknowledged.

Part of the text of this lecture is based on a previous paper by the author dedicated to the single case study of the Sanctuary of Vicoforte⁶², updated and significantly extended to include also the other case studies.

This lecture intended to illustrate and discuss, on the occasion of the opening of the Academic Year of the Academy of Sciences, an overview of the current scenarios of advanced debate and recent progresses on the conservation of the architectural heritage in the frame of a cultural interdisciplinary vision at the interface between scientific and technical disciplines and humanities and historical sciences. For any further deeper insight on scientific and technical aspects reference can be made to the referenced literature.

⁶² M.A. Chiorino, *The role of structural engineering and geotechnics in the conservation of historical monuments. The case study of the of the Sanctuary of Vicoforte with its large elliptical dome*, in Carolina Di Biase, F. Albani (Eds.), *The Teaching of Architectural Conservation in Europe*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN) 2019, pp. 203-225.

COMMEMORAZIONI

Germain Rigault de la Longrais

(Biella, 6 giugno 1930 – Gassino, 22 dicembre 2018)



Il 22 dicembre 2018, nella sua residenza di Gassino (Torino), confortato dalla presenza dei famigliari, è mancato il prof. Germano Rigault. Socio dell'Accademia delle Scienze di Torino dal 1964, per il triennio 1997-2000 fu direttore della Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali nei cui «Atti» e «Memorie» ha pubblicato non poca parte della sua produzione scientifica. Assiduo frequentatore delle sedute di classe, oramai da qualche anno ne era assente in quanto visse l'ultima parte della sua vita impedito nella deambulazione, infermità che non lo privò di applicarsi fino all'ultimo alle sue amate ricerche di cristallografia geometrica sviluppate in ambiente MATLAB. Queste

ricerche erano il suo argomento preferito nei nostri periodici colloqui telefonici, così come lo erano durante le sporadiche visite che mi era possibile fargli.

Germain Rigault de la Longrais (questo il nome completo) era nato a Biella il 6 giugno 1930, unico figlio di Raoul e di Alda Viretti. Orfano di padre quando non aveva ancora 6 anni, Germano crebbe a Torino con la madre, la nonna paterna e una zia nubile (sorella del padre). La famiglia era originaria della zona di Nantes (Loira) dove si trova il comune di Longrais, del cui titolo marchionale era investita. Il bisnonno, ufficiale della marina francese, si trovò bloccato a Napoli dopo la definitiva caduta di Napoleone e decise di restare in Italia. Con il trasferimento in Piemonte del nonno, pure militare, la famiglia vi si stabilì.

Laureatosi in chimica il 10 luglio 1953 con una tesi intitolata *Studi sulla cromatografia degli aminoacidi*, essendo relatore il prof. Mario Milone, Rigault fu immediatamente assunto, quale assistente incaricato, dal prof. Massimo

Fenoglio. Questi aveva il tipico comportamento che guadagnò il titolo di «barone» ai professori universitari signori assoluti del loro Istituto mono-cattedra. Gli assistenti e, in particolare, chi aveva la qualifica di Aiuto erano tali di nome e di fatto, a tempo pieno. Almeno questa era l'atmosfera dell'Istituto di Mineralogia quando, nel dicembre 1960 fui a mia volta convocato da Fenoglio che mi offriva un posto di assistente incaricato. Incontrai così per la prima volta Rigault che, nella sua posizione di Aiuto, stava al fianco di Fenoglio. Un incontro felicemente e proficuamente durato oltre mezzo secolo.

La carriera di Rigault quale docente e ricercatore nell'area delle scienze mineralogiche progredì celermente, grazie alla sua preparazione e capacità lavorativa: libero docente di Mineralogia nel 1960 fu poco dopo ternato in un concorso a cattedra bandito per l'Università di Catania e, nel dicembre 1962, fu chiamato alla cattedra di Mineralogia liberatasi a seguito del pensionamento di Fenoglio. Allora la cattedra comportava anche la direzione dell'annesso Istituto di Mineralogia, posizione che Rigault mantenne fino al 1977, quando ormai la funzione di direzione era diventata elettiva.

Al corso di Mineralogia diede immediatamente una moderna impronta cristallografica, così come fece con la sua attività scientifica, abbandonando le precedenti ricerche incentrate sullo studio di elementi minori in minerali alpini tramite metodi spettrografici, argomento che si confaceva al corso di Geochimica che aveva tenuto da assistente. Gli originali aspetti cristallografici e cristallografici introdotti nel suo insegnamento avrebbero potuto, in linea di principio, anche riuscire indigesti agli studenti, ma la sua capacità espositiva seppe catalizzare l'attenzione dell'uditorio che, sempre, ne apprezzò la convincente chiarezza.

Nell'ambito cristallografico il contributo più originale di Rigault è stato l'applicazione dell'algebra delle matrici alla cristallografia ottica e geometrica, contributo che sviluppò attraverso la didattica e la pubblicazione di articoli originali. Per quanto riguarda la didattica del corso di Mineralogia, l'indirizzo da lui impartito traspare chiaramente dai titoli dei libri di testo che ben presto pubblicò: *Elementi di ottica cristallografica* nel 1965 (con riedizione del 1979); *Introduzione alla Cristallografia* nel 1966 (con riedizioni nel 1976, 1983 e 2005); *Complementi ed esercizi di cristallografia* nel 1972. Per un pubblico più vasto, nel 1979 pubblicò il volume *Simmetrie e cristalli*.

La pubblicazione sul «Periodico di mineralogia» degli articoli intitolati *Applicazioni dell'algebra delle matrici alla cristallografia morfologica e reticolare* (1970) e *Operazioni di simmetria e tensore metrico in Cristallografia* (1973), nonché la partecipazione alle attività didattiche dell'Associazione Italiana di Cristallografia – di cui era stato socio fondatore nel 1967 –, contribuirono a diffondere l'indirizzo dato da Rigault alla didattica della Cristallografia; chiaro segno dell'apprezzamento di tale indirizzo fu l'adozione del suo manuale *Introduzione alla Cristallografia* da parte di vari docenti in tutta Italia.

Il metodo didattico fu pure apprezzato in campo internazionale, ad esempio quando Rigault lo espose alla scuola internazionale *Teaching Crystallography for Today's Science* organizzata ad Erice nel settembre 1977. Era questa la quarta edizione di una fortunata serie di scuole, che ormai ha ampiamente superato la sua 50^a edizione sotto il titolo *International School of Crystallography*, tutte tenute presso il centro «Ettore Majorana Centre and Foundation for Scientific Culture». Chiamato a far parte della *Teaching commission* della *International Union of Crystallography* (IUCr, 1978-1983), Rigault contribuì al progetto di pubblicare una serie di brevi testi dedicati all'insegnamento della Cristallografia. I primi 10 *pamphlets* videro la luce nel 1981; uno di essi, intitolato *Metric Tensor and Symmetry Operations in Crystallography*, era basato sulle lezioni da lui tenute alla scuola di Erice del 1977.

Rigault partecipò attivamente alle attività istituzionali dell'Università di Torino ricoprendo, tra l'altro, la posizione di Preside della Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali per il periodo 1973-1975, incarico da cui si dimise per candidarsi alla carica di Rettore in lizza con Giorgio Cavallo, che ne uscì vincitore. In quel periodo partecipò attivamente alla fondazione (1978) del Museo Regionale di Scienze Naturali, di cui fu a lungo membro del Consiglio scientifico. Il suo impegno didattico e scientifico ebbe vari riconoscimenti, fra cui la nomina a socio dell'Accademia Nazionale dei Lincei (1985) e a professore emerito quando, nel 2000, al compimento del 70° anno di età, richiese il pensionamento rinunciando al periodo di professore fuori ruolo, ma non alla sua attività di ricerca, come già ricordato.

Il tema del calcolo matriciale applicato alla cristallografia portò Rigault ad interessarsi di Quintino Sella (1827-1884) che, seppur più noto per la sua attività politica, fin dagli anni Cinquanta dell'Ottocento l'aveva introdotto ed utilizzato durante il breve periodo in cui fu docente di Matematica e di Mineralogia. Forse i tempi non erano ancora maturi e la proposta di Sella ebbe scarso seguito tra i suoi successori, seppur apprezzata internazionalmente e riproposta da W.H. Miller (1801-1880) nel suo manuale *A Tract of Crystallography* (Cambridge, 1863). Rigault, oltre agli articoli scientifici del Sella, esaminò anche l'abbondante materiale archivistico conservato presso la Fondazione Sella di Biella e, nel 1984, in occasione delle celebrazioni del centenario di morte dell'illustre biellese, ne illustrò i meriti scientifici in convegni tenutosi a Roma (Accademia dei Lincei, 26 maggio) e a Torino (Palazzo Carignano, 24-26 ottobre), nonché alla mostra documentaria organizzata a Biella.

Rigault sistematicamente dedicava ad attività sportive il tempo lasciategli libero dagli impegni universitari. Il suo sport preferito era il tennis che praticò anche agonisticamente, ottenendo brillanti successi.

GIOVANNI FERRARIS

Pubblicazioni di Germain Rigault

1. (con M. Fenoglio). *Ricerche spettrografiche sulla scheelite di Traversella*, in «Rendiconti della Accademia nazionale dei Lincei. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 18, 1955, pp. 260-265.
2. *Ricerche sulla scheelite dei giacimenti delle Alpi Piemontesi*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 90, 1956, pp. 647-655.
3. *Gallio e indio nella blenda*, in «Periodico di mineralogia», 25, 1956, pp. 43-78.
4. (con M. Fenoglio). *Studi geologico-petrografici sulla formazione dioritica di Cogne-Valsavaranche (Valle d'Aosta)*, in «Rendiconti della Accademia nazionale dei Lincei. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 26, 1956, pp. 335-344.
5. *Notizie preliminari chimico-spettrografiche sulla scheelite di Challant Saint Victor e della Val Toppa*, in «Rendiconti della Società mineralogica italiana», 12, 1956, pp. 189-193.
6. *Relazioni tra la struttura della blenda e il contenuto in gallio e indio*, in «Il Nuovo Cimento», 5, 1957, pp. 579-586.
7. (con M. Fenoglio). *Contributo alla geochimica dell'europio*, in «Rendiconti della Accademia nazionale dei Lincei. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 22, 1957, pp. 420-429.
8. (con M. Fenoglio). *Ricerche sulla distribuzione di uranio e torio nella formazione dioritica di Cogne (Valle d'Aosta)*, in «Rendiconti della Accademia nazionale dei Lincei. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 23, 1958, pp. 107-116.
9. (con A. Malvicini). *Considerazioni sui metodi per determinare il rapporto U/Th nei minerali e nelle rocce*, in «Rendiconti della Società mineralogica italiana», 14, 1958, pp. 301-311.
10. *Ricerche sulla massa peridotitico-serpentinosa di Germagnano in Val di Lanzo*, in «Periodico di mineralogia», 27, 1958, pp. 247-264, 2 tavv. f.t.
11. *Vantaggi della volatilizzazione selettiva e delle «esaltazioni» nell'analisi spettrografica*, in «La Metallurgia Italiana», 50, 1958, pp. 801-806.
12. *Ricerche cristallografiche e chimico-spettrografiche sulla titanite della massa dioritica di Cogne-Valsavaranche*, in «Rendiconti della Società mineralogica italiana», 15, 1959, pp. 239-252.
13. *Contributo allo studio della disidratazione del solfato di rame pentaidrato mediante la combinazione dell'analisi termoponderale e dell'analisi termodifferenziale*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 93, 1959, pp. 489-497.
14. *Ricerche sui minerali silicatici di un importante giacimento dell'alta Valtournanche (Valle d'Aosta). Nota I: I granati*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 93, 1959, pp. 350-368.
15. (con M. Fenoglio). *Studi geologico-petrografici sulla formazione dioritica di Cogne-Valsavaranche (Valle d'Aosta)*, in «Rendiconti della Accademia nazionale dei Lincei. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», XXVI, 1959, pp. 335-344.

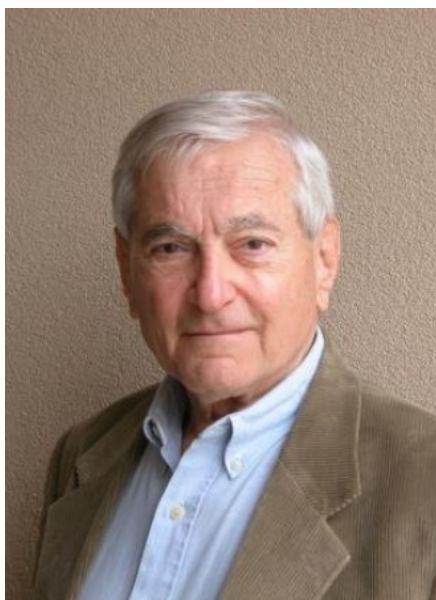
16. (con M. Fenoglio). *Relazioni fra composizione chimica e proprietà fisiche e cristallografico-strutturali dei granati*, in «Rendiconti della Società mineralogica italiana», 16, 1960, pp. 7-22.
17. *Contributo allo studio dell'uvarovite dell'alta Valtournanche (Valle d'Aosta)*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 96, 1962, pp. 163-174.
18. *Studi geologico-petrografici sulla formazione dioritica di Cogne-Valsavaranche: gabbriodiorite della zona Punta Bioula-Punta Bianca (Valle d'Aosta)*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 96, 1962, pp. 506-516.
19. *Notizie preliminari sulla disidratazione della morenosite*, in «Rendiconti della Società mineralogica italiana», 17, 1961, pp. 455-462.
20. *Ricerche sulla morenosite di Valtournanche (Valle d'Aosta)*, in «Periodico di mineralogia», 30, 1961, pp. 81-109.
21. (con G. Ferraris). *Ricerche sulla fluorite rosea del Monte Bianco*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 96, 1962, pp. 517-533.
22. *Ricerche sul diopside dell'alta Valtournanche (Valle d'Aosta)*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 96, 1962, pp. 534-546.
23. (con G. Ferraris). *Spettrofotometria di assorbimento in luce polarizzata delle sostanze cristalline*, in «Rendiconti della Società mineralogica italiana», 18, 1962, pp. 199-213.
24. (con D. Aquilano). *Assorbimento nell'infrarosso della muscovite: ricerche in luce polarizzata trasmessa e riflessa*, in «Periodico di mineralogia», 33, 1964, pp. 445-465.
25. *Applicazioni della spettrofotometria ad assorbimento atomico a ricerche di carattere geochimico*, in «Periodico di mineralogia», 34, 1965, pp. 117-128.
26. *Elementi di ottica cristallografica*, Levrotto & Bella, Torino 1965 e 1979, 106 pp.
27. (con G. Gazzoni). *Determinazione mediante spettrometria α del rapporto U/Th in minerali di origine pegmatitica*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 100, 1965, pp. 79-90.
28. *Introduzione alla cristallografia*, Levrotto & Bella, Torino 1966, 1976, 1983 e 2005, 215 pp.
29. *Cristalli ideali e cristalli reali*, in «Associazione Mineraria Subalpina», 4, 1967, pp. 537-542.
30. *Simmetria nelle sostanze magnetiche cristalline*. Corso n. 4. Proprietà Magnetiche della Materia, 1-20 settembre 1969, Istituto di Fisica dell'Università, Perugia.
31. (con G. Graziosi). *Applicazioni dell'algebra delle matrici alla cristallografia morfologica e reticolare*, in «Periodico di mineralogia», 39, 1970, pp. 225-244.
32. *Massimo Fenoglio (1892-1970): cenni commemorativi*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 105, 1971, pp. 505-514.
33. *Ricordo di Massimo Fenoglio*, in «Rendiconti della Società italiana di mineralogia e petrologia», 27, 1971, pp. LXI-LXX.

34. *Commemorazione dell'accademico dott. prof. Massimo Fenoglio*, in «Annali dell'Accademia di agricoltura di Torino», 113, 1971, pp. 1-5.
35. *Proiezione ortografica delle strutture cristalline sui piani reticolari*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 105, 1971, pp. 577-583.
36. *Borson Stefano*, in *Dizionario Biografico degli italiani*, 13, 1971, pp. 143-144.
37. *Breislak Simone*, in *Dizionario Biografico degli italiani*, 14, 1972, pp. 119-120.
38. (con G. Graziosi). *Complementi ed esercizi di cristallografia*, Levrotto & Bella, Torino 1972, 142 pp.
39. *Operazioni di simmetria e tensore metrico in Cristallografia*, in «Periodico di mineralogia», 42, 1973, pp. 347-368.
40. *Simmetrie e cristalli*, Loescher, Torino 1979, 88 pp.
41. *Metric tensor and symmetry operations in crystallography*. IUCr teaching pamphlet No. 10, University College Cardiff Press, Cardiff 1981, pp. 13.
42. *Colomba Luigi*, in *Dizionario Biografico degli italiani*, 27, 1982, pp. 111-112.
43. *Sul Gruppo Puntuale 235*, in «Accademia delle Scienze di Torino. Atti dell'Accademia della Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 117, 1983, pp. 321-332.
44. *La figura scientifica di Quintino Sella*. Atti dei Convegni Lincei, 64, 1984, pp. 15-26; ristampa in *Quintino Sella tra politica e cultura*, Atti del Convegno Nazionale di Studi, Torino, Palazzo Carignano, 24-26 ottobre 1984, pp. 213-227.
45. (con G. Chiari). *Calcolo delle costanti cristallografiche morfologiche con il metodo dei minimi quadrati*, in «Bollettino del Museo regionale di scienze naturali», 2, 1984, pp. 221-256.
46. *Reticolo reciproco e birapporto in cristallografia*, in «Accademia delle Scienze di Torino. Atti della Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 118, 1984, pp. 38-42.
47. (con G. Chiari). *Indicizzazione delle facce di un cristallo esaminato al microscopio elettronico a scansione*, in «Bollettino del Museo regionale di scienze naturali», 3, 1985, pp. 173-182.
48. *Sulla trasformazione di assi in cristallografia morfologica*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 120, 1986, pp. 93-97.
49. *Il contributo dell'Accademia allo sviluppo delle scienze mineralogiche*. In *I due primi secoli dell'Accademia delle Scienze di Torino: l'Accademia delle Scienze e il suo contributo allo sviluppo del pensiero e del progresso scientifico*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1987, pp. 135-143.
50. *Sui simboli degli assi di zona nel sistema esagonale*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 122, 1988, pp. 256-268.
51. *Sul calcolo delle costanti cristallografiche*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 122, 1988, pp. 307-315.
52. *Sul calcolo degli indici di rifrazione di una lamina cristallina*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 123, 1989, pp. 77-83.

53. *Sul calcolo reticolare nello studio dell'autoepitassia*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 123, 1989, pp. 119-128.
54. *Ricordo di Guido Carobbi (1900-1983) e di Edoardo Sanero (1901-1983)*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 123, 1989, pp. 84-87.
55. *Glauco Gottardi*, in «Rendiconti dell'Accademia dei Lincei, classe di scienze fisiche, matematiche e naturali», s. 9, I, 1990, suppl., pp. 43-49.
56. *Il Museo di mineralogia di Torino: storia e prospettive*, in «Plinius», 11, 1993, pp. 266-269; «Museological Science», 11, 1994, pp. 351-355.
57. *Sui simboli grafici delle elicoesagire 62 e 64*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 130, 1996, pp. 205-207.
58. *Ordine e disordine nel mondo dei cristalli*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 132, 1998, pp. 13-22.
59. *Su un problema relativo alle trasformazioni di terne ortogonali in Cristallografia*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 132, 1998, pp. 29-37.
60. *Sulla rappresentazione delle rotazioni in proiezione stereografica*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 132, 1998, pp. 109-115.
61. *Sulle costanti cristallografiche morfologiche e il metodo dei minimi quadrati*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 133, 1999, pp. 15-20.
62. *Il reticolo polare di Bravais e il reticolo reciproco*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 133, 1999, pp. 91-98.
63. *Augusto Bravais e Quintino Sella: relazioni tra il reticolo diretto e quello reciproco in Cristallografia*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 134, 2000, pp. 9-20.
64. *Sulla simmetria cristallografica e quasi-cristallografica nello spazio tridimensionale*. I Parte: *Reticoli di Bravais e classi oloedriche*. II Parte: *Sui sei politopi*, in «Accademia delle Scienze di Torino. Memorie della Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 31, 2007, pp. 27-66.
65. (con G. Ferraris). *Sui tipi di cella elementare in un reticolo a n-dimensioni*, in «Atti della Accademia delle Scienze di Torino. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 144, 2010, pp. 153-160.
66. *Biografia di Quintino Sella. Sulla trasformazione di assi in cristallografia morfologica* (ristampa); *Augusto Bravais e Quintino Sella: relazioni tra il reticolo diretto e quello reciproco in cristallografia* (ristampa), in N. Sella di Monteluca (a cura di), *Quintino Sella. Scritti di scienza. L'Armonia del Sapere e del Fare*, Opera Pia Sella, Biella 2012.
67. (con F. Abbona). *Cenni storici sui primi esperimenti di diffrazione dei raggi X da parte dei cristalli*, in «Accademia delle Scienze di Torino. Memorie della Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», 36, 2012, pp. 95-122.

Wolfgang Rindler

(Vienna, 18 maggio 1924 – Dallas, 8 febbraio 2019)



Oggi l'Accademia delle Scienze ricorda il fisico relativista Wolfgang Rindler, scomparso l'8 febbraio 2019 all'età di 94 anni. Era Socio straniero di questa accademia dal 2000.

Il mio primo contatto con il nome di Wolfgang Rindler risale al lontano 1962, quando frequentavo il terzo anno del corso di laurea in Fisica. Quell'anno Tullio Regge teneva per la prima volta il suo corso di Relatività. Mi ricordo che le lezioni si svolgevano il martedì, il giovedì e il sabato alle 8 del mattino ed eravamo in tutto tre studenti frequentanti. Il libro di testo, che Regge seguiva fedelemente, era *Special Relativity* di Wolfgang Rindler, pubblicato nel 1960 da Oliver and Boyd, uno dei

primi testi universitari di Relatività, divenuto presto famoso per concisione, semplicità e chiarezza.

Rindler spese molte energie nell'insegnamento e nella didattica. Ancora nel 2013, all'età di 89 anni, teneva un corso regolare alla Texas University di Dallas. Scrisse diversi altri libri di testo di Relatività Ristretta, Relatività Generale e Cosmologia. Uno di questi, sugli spinori nello spazio-tempo, fu scritto in collaborazione con un altro grande relativista, Roger Penrose. Molti di questi libri furono tradotti in diverse lingue, tra cui il russo e il giapponese, come teneva a sottolineare Rindler. Del primo libro di *Relatività Ristretta*, ci fu una seconda edizione nel 1966 riveduta e ampliata che ebbe una grandissima diffusione. Ne esiste anche una edizione italiana, pubblicata nel 1971 da Cremonese (Roma) e curata dallo stesso autore. Rindler dunque conosceva l'italiano, che probabilmente aveva imparato nell'anno sabbatico '68-'69, trascorso all'Università la Sapienza di Roma.

Wolfgang Rindler nacque a Vienna il 18 maggio 1924. Perse molto presto il padre, Ernst, un noto avvocato di un'antica famiglia ebraica. Nel 1938 un drammatico episodio della storia del '900 stravolse la vita del giovane Wolfgang. Dopo la *Notte dei cristalli* del 9 novembre, con l'incendio e la distruzione di centinaia di sinagoghe e le violenze delle squadracce naziste contro gli ebrei, sua madre, Margareth Kopecki, decise di affidarlo ad un *Kindertransport*, un'opera umanitaria di soccorso organizzata dal Regno Unito, che riuscì a portare in salvo in Gran Bretagna nei pochi mesi che precedettero lo scoppio della Seconda Guerra mondiale circa 10.000 bambini e ragazzi non accompagnati, in prevalenza ebrei, provenienti dalla Germania, l'Austria, la Polonia e la Cecoslovacchia, che venivano poi affidati a famiglie adottive inglesi. Una misura delle dimensioni di questa gigantesca opera di soccorso è data dal numero di bambini salvati divenuti poi personalità del mondo della cultura, della scienza e dell'arte. Limitandoci solo al mondo della fisica, oltre a Rindler possiamo menzionare tre premi Nobel: Walter Kohn, Arno Penzias (scopritore con Robert Wilson della radiazione cosmica di fondo) e Jack Steinberger (scopritore con Max Lederman e Melvin Schwarz del neutrino muonico).

Il quattordicenne Wolfgang fu avviato dai suoi genitori adottivi ai lavori agricoli nei campi, ma fu poi riconosciuto il suo talento matematico e riprese gli studi, laureandosi brillantemente nel 1945 all'Università di Liverpool sia in fisica sia in matematica. Nel 1947 conseguì un master in matematica (geometria differenziale). Nel 1949 si trasferì a Londra, all'Imperial College, dove nel 1956 ottenne un PhD in matematica con una tesi di Relatività. Quello stesso anno emigrò negli Stati Uniti, dove divenne Assistant Professor alla Cornell University di Ithaca, nello stato di New York. Nel 1963 si trasferì in una piccola università di Dallas, il *Graduate Research Center of Southwest*, fondato e finanziato dai fondatori della Texas Instruments. In un'intervista del 2009 un giornalista chiese a Rindler la ragione del suo trasferimento da un'università prestigiosa come Cornell ad un'altra costituita da pochi edifici sperduti in un campo di cotone. Dalla risposta di Rindler traspare il *modus operandi* del mondo accademico statunitense di allora:

mi telefonò un mio amico matematico, Ivor Robinson, chiedendomi quanto guadagnavo a Cornell. «8.000 dollari all'anno», risposi, e lui «che ne diresti di guadagnarne il doppio e venire qui per trasformare questa università in un centro di ricerca avanzata di Relatività, come Austin?». Una simile proposta non era rifiutabile.

Era allora l'epoca dell'amministrazione Kennedy, che aveva deciso di impegnare molte risorse per lo sviluppo della ricerca di base. Il gruppetto di relativisti ingaggiati da Robinson decise di lanciare il nuovo centro di ricerca

di Dallas con l'organizzazione di una grande conferenza mondiale, il *Texas Symposium on Relativistic Astrophysics*, che si sarebbe svolto nel dicembre del 1963. Grazie ai generosi finanziamenti dell'amministrazione federale e dello stato del Texas non si badò a spese, invitando i più famosi astronomi e relativisti del tempo, quali Roger Penrose, John A. Wheeler, Robert Oppenheimer, considerato il padre dei buchi neri, Roy Kerr, che aveva appena costruito una soluzione delle equazioni di Einstein che descrive un buco nero rotante, una delle maggiori sorgenti di energia dell'universo. Si erano inoltre da poco scoperti i primi *quasar*, gli oggetti celesti più grandi che l'universo avesse mai visto e la conferenza fu proprio dedicata alla discussione sulla natura di questi oggetti. Da allora il *Texas Symposium* si svolge ogni due anni, in tutte le parti del mondo. Rindler fu in quel periodo testimone di un altro tragico evento della storia del '900. Un'altra grande iniziativa avrebbe dovuto suggellare la nascita del nuovo centro: il 22 novembre 1963 il Presidente Kennedy avrebbe dovuto tenere in quella sede all'ora di pranzo un importante discorso sullo sviluppo della ricerca di base e per quell'occasione era stato organizzato un grande banchetto con tutto il corpo docente. Arrivò invece la tragica notizia del suo assassinio. Come raccontò poi Rindler, l'emozione fu fortissima e molti scoppiarono a piangere. Con la morte di Kennedy la politica dell'amministrazione federale nei confronti della ricerca di base progressivamente cambiò e il nuovo centro, divenuto il *Southwest Center for Advanced Studies*, in analogia con quello di Princeton, ebbe vita difficile e infine nel 1969 fu assorbito dalla Texas University, costituendone il nodo di Dallas. Qui Wolfgang Rindler divenne *Full Professor* nel 1966, portò a termine la sua carriera accademica e continuò la sua attività di ricerca fino alla fine.

Nella produzione scientifica di Rindler spicca per rilevanza la nozione di orizzonte degli eventi, da lui introdotta nella tesi di dottorato del 1956 e pubblicata lo stesso anno su una rivista inglese. L'orizzonte degli eventi è, con le parole di Rindler,

una superficie dello spazio-tempo che per un dato osservatore A divide gli eventi in due classi non vuote: quelli che sono stati, sono o saranno osservabili da A, e quelli che sono per sempre al di fuori di ogni possibile osservazione da parte di A.

L'orizzonte degli eventi è una caratteristica di molte soluzioni delle equazioni di Einstein, cioè di modelli di Universo e in particolare dei buchi neri. Un paio di anni dopo il fisico americano David R. Finkelstein descrisse un'altra proprietà fondamentale dell'orizzonte degli eventi: è una membrana perfettamente unidirezionale, che può essere cioè attraversata da qualunque sistema fisico solo in un senso. La nozione di orizzonte degli eventi è oggi indissolubilmente legata ai buchi neri, ma né nel lavoro di Rindler né in quello

di Finkelstein si menzionano questi oggetti. Infatti il termine «buco nero» è stato introdotto nella letteratura scientifica molto più tardi. È stato inizialmente un termine giornalistico, usato in articoli divulgativi. Pare che l'origine del termine sia dovuto al nome dato a un'antica piccola prigione di Calcutta dove a metà del '700 morirono in una notte più di cento soldati prigionieri stipati lì dentro, probabilmente per asfissia, detta da allora *black hole of Calcutta*, simbolo di un luogo da dove, una volta entrati, non si può uscirne vivi. Il termine *black hole* fu usato da alcuni congressisti nel primo *Texas Symposium* del dicembre 1963 e poi introdotto definitivamente nella letteratura scientifica da Wheeler nel 1967. La nozione di quel che oggi è detto buco nero, cioè di una stella gravitazionalmente collassata, era nata molto prima. In un lavoro del 1939 Einstein aveva sostenuto erroneamente che questi oggetti non potevano esistere, ma nello stesso anno, a pochi mesi di distanza, Oppenheimer e il suo allievo Hartland S. Snyder descrissero in un famoso lavoro il collasso gravitazionale di una stella, visto da un osservatore esterno e da un osservatore solidale con la superficie della stella; lo stato finale di questo processo è un buco nero. Qual è la sorte di un osservatore che si trovi nei pressi di un orizzonte degli eventi che circonda un buco nero? Questa superficie è invisibile e non c'è modo per l'osservatore di determinarne la posizione, ma se la attraversa non potrà più tornare indietro e precipiterà all'interno del buco nero verso una singolarità della curvatura dello spazio-tempo. Se per esempio il buco nero è di Schwarzschild la singolarità è un punto dove è concentrata tutta la massa del buco nero. Se invece il buco nero è di Kerr (buco nero rotante) la singolarità è filiforme (un cerchio). Altre volte la singolarità è una geodetica temporale chiusa che consentirebbe di viaggiare indietro nel tempo. Queste singolarità sono all'origine di molti paradossi e probabilmente sono il segno che nelle loro vicinanze la teoria di Einstein non è più applicabile. Se però queste singolarità sono nascoste da un orizzonte degli eventi, come prescrive la censura cosmica, una congettura formulata da Penrose cinquant'anni fa e finora non contraddetta, la teoria della Relatività Generale è perfettamente consistente. La nozione di orizzonte degli eventi divenne particolarmente importante a partire dalla metà degli anni '70, quando Stephen Hawking mostrò, dallo studio delle proprietà della teoria quantistica dei campi in prossimità di questa superficie, che essa si comporta come un corpo nero a una temperatura finita che dipende dalla massa del buco nero. Di conseguenza questi oggetti, che classicamente possono solo catturare materia e energia, quantisticamente emettono una radiazione termica come tutti i sistemi a temperatura finita e possono dunque evaporare. L'effetto è microscopico e assolutamente inosservabile nei *black hole* stellari (la temperatura di un buco nero diminuisce con la massa), ma concettualmente è molto importante perché è all'origine del paradosso della perdita di informazione, che nonostante più di quaranta anni di sforzi non è stato ancora completamente risolto. Mentre nella fisica classica,

compresa la teoria di Einstein, e, separatamente, in meccanica quantistica, la quantità di informazione si conserva in ogni processo, l'evoluzione temporale dei buchi neri, a causa della radiazione di Hawking non la conserva. Ecco un semplice esempio. Una grandezza che si conserva in tutti i processi è il numero barionico, cioè, semplificando un po', il numero dei protoni e dei neutroni meno il numero delle loro antiparticelle. Se un buco nero evapora completamente per effetto della sua radiazione termica, tutta la materia barionica che ha inglobato nella sua esistenza sparisce nel nulla, dunque l'informazione sul numero di barioni inglobati è perduta per sempre.

Il lavoro di Rindler che ha ricevuto e riceve tuttora più citazioni non è quello sull'orizzonte degli eventi, ma un altro, pubblicato dieci anni dopo, nel 1966. È un lavoro di cinematica relativistica nello spazio-tempo di Minkowski, dunque uno spazio piatto, senza campo gravitazionale. In questo spazio un punto che si muove di moto uniformemente accelerato nella direzione x descrive nel piano x, t di Minkowski (t è il tempo) un'iperbole equilatera. Rindler considera la famiglia di tutte queste iperboli per ogni valore dell'accelerazione; essa ricopre solo un quadrante del piano di Minkowski (questo quadrante è oggi noto come spazio-tempo di Rindler), introduce delle coordinate adatte a descrivere il moto di un osservatore solidale col sistema accelerato (oggi note come coordinate di Rindler) e fa un'osservazione acutissima: la geometria dello spazio-tempo di Rindler è quasi identica a quella all'esterno dell'orizzonte degli eventi di un buco nero di Schwarzschild. In particolare un osservatore che si muove di moto accelerato non può ricevere segnali dai punti dello spazio-tempo di Minkowski che si trovino al di fuori dello spazio-tempo di Rindler. In altri termini questo osservatore vede un orizzonte degli eventi, nonostante non ci sia nessun campo gravitazionale e nessun buco nero. Questo lavoro fu totalmente ignorato per dieci anni, ma dopo la scoperta di Hawking dell'emissione termica dei buchi neri ci si rese conto che un effetto del genere poteva essere osservato in tutte le circostanze in cui si manifesta un orizzonte degli eventi, perché queste membrane unidirezionali hanno proprietà fisiche universali, indipendentemente da come si sono formate. In effetti nel 1976 il fisico americano William Unruh riuscì a dimostrare, studiando la quantizzazione di una teoria di campo libera nelle coordinate di Rindler, che un osservatore in moto uniformemente accelerato vede il vuoto di Minkowski (che per un osservatore inerziale è a temperatura zero) emettere una radiazione termica tipica di un corpo nero a una temperatura T proporzionale all'accelerazione a cui è soggetto, e precisamente

$$T = \frac{a \hbar}{2\pi \kappa c},$$

dove $\hbar$ è la costante di Planck, κ la costante di Boltzmann e c la velocità della luce nel vuoto. Se si sostituisce l'accelerazione a con la gravità superficiale,

cioè l'accelerazione di gravità misurata da un osservatore solidale con l'orizzonte degli eventi che circonda un buco nero, si ottiene la temperatura del buco nero calcolata da Hawking. Questo è l'*effetto Unruh*, troppo fiavole per essere osservato, ma di grande interesse teorico. Un effetto analogo si ha nel moto circolare uniforme. In questo caso alcuni recenti lavori sperimentali sul moto degli elettroni negli acceleratori sostengono che l'effetto è visibile, ma l'interpretazione dei dati è ancora controversa.

Vorrei concludere questo ricordo con le parole pronunciate dallo stesso Rindler come introduzione all'intervista del 2009:

I enjoy imparting knowledge to students, I enjoy the phenomenon of suddenly a student understanding something he didn't understand before. It is a very rewarding past time and it helps writing my textbooks [...]. So teaching is something I really enjoy very much. As a matter of fact it is a funny thing.

FERDINANDO GLIOZZI

Luigi Salvadori

(Maddaloni, 19 maggio 1925 – Pisa, 9 febbraio 2019)



Nato a Maddaloni, in provincia di Caserta, nel 1925, Luigi Salvadori si laureò in Fisica presso l'Università di Napoli nel 1950 sotto la guida del prof. Edoardo Caianiello. Nel 1953 risultò vincitore del concorso per Assistente Ordinario alla Cattedra di Meccanica Razionale. I commissari del concorso, proff. Carlo Tolotti, Carlo Miranda e Guido Zappa, erano figure prestigiose dell'Università partenopea, e lo indirizzarono verso studi di alto livello.

Nel 1960 ottenne la Libera Docenza. Dal 1967 al 1969 fu Professore Straordinario di Meccanica Razionale presso la Facoltà di Scienze MFN di Catania. Conseguito l'Ordinaria-

to, ritornò a Napoli dal 1969 al 1971, come Professore di Istituzioni di Fisica Matematica. Si trasferì quindi all'Università di Roma presso la Facoltà di Scienze MFN, come Ordinario di Fisica Matematica, nel periodo 1971-78. Infine si trasferì all'Università di Trento, dove concluse la sua carriera, prima sulla Cattedra di Meccanica Razionale della Facoltà di Scienze MFN (1978-94), ricoprendo la carica di Preside nel triennio 1989-92, poi nella Facoltà di Ingegneria (1994-2000). Nel 2002 fu nominato Professore Emerito presso l'Università di Trento.

La produzione scientifica di Luigi Salvadori è interamente dedicata ad uno dei temi più affascinanti della Matematica moderna: l'analisi qualitativa dei sistemi differenziali nonlineari. Interesse particolare rivestono i problemi di Fisica Matematica, ma i risultati ottenuti hanno valenza in tutte le Scienze Applicate.

Salvadori è stato immediatamente riconosciuto a livello internazionale, fin dalla prima parte della sua produzione, come autorevole esperto delle problematiche di stabilità e biforcazione. In termini generali: si tratta di determinare il comportamento di un sistema fisico quando le condizioni iniziali e la stessa equazione di evoluzione sono oggetto di perturbazione. L'approccio di Salvadori è rigorosamente matematico, con l'utilizzo di sofisticati metodi di Analisi Funzionale, distinguendo le diverse nozioni di stabilità semplice, asintotica e totale, e discutendo lo strettamente connesso problema della biforcazione.

L'attività scientifica di Salvadori è stata intensa anche dopo il pensionamento. Nella sua ultima Memoria: L. Salvadori, F. Visintin, *Recent Results on the Stability of Time Dependent Sets and Their Application to Bifurcation Problems* pubblicata negli Atti della Accademia Nazionale dei Lincei («Rendiconti Lincei, Matematica e Applicazioni», v. XXI, n. 1, 2010, pp. 79-98), è presentata una rassegna dei suoi risultati più recenti, sulla relazione tra le varie proprietà di stabilità. La seguente frase, qui riportata da p. 90 della Memoria, spiega ai non esperti la connessione con il problema della biforcazione:

Since the bifurcation phenomena are normally connected to drastic changes of the stability properties under perturbations, it appears clearly the possibility to use the stability results [...] in order to reduce even problems of existence and stability of bifurcating sets to analogous problems on spaces with a smaller number of dimensions.

Collegata alla produzione di articoli scientifici, si segnala l'organizzazione di numerosi convegni specialistici e l'attività editoriale. In particolare è stato tra i fondatori della rivista «NoDEA» (*Nonlinear Differential Equations and Applications*) ed ha partecipato al Comitato Editoriale di numerosissime riviste internazionali. Si evidenzia altresì l'organizzazione del Convegno a Trento nel 1980, i cui atti: L. Salvadori, P. De Mottoni, *Nonlinear Differential Equations* (Academic Press, New York-London 1981) hanno avuto diverse ristampe, e costituiscono tuttora un testo fondamentale per gli esperti del settore.

Luigi Salvadori ha tenuto conferenze e seminari presso le seguenti università straniere: Università di Mons (Belgio), Università di Louvain (Belgio), Università di Szeged (Ungheria), Università di Heidelberg (Germania), Università di Paderborn (Germania), Università di Mosca (Russia), Università di Leningrado (Russia), Università di Tbilisi (Georgia), Indian Institute of Technology in Madras (India), e le seguenti università in USA: Brown, Melbourne, Arlington, Austin, San Antonio, Tampa, Athens, Stillwater, Ann Arbor, Buffalo, Colorado Spring.

Luigi Salvadori è stato Socio Corrispondente dal 1993 dell'Accademia delle Scienze di Torino; era inoltre Socio Nazionale dell'Accademia dei Lincei, Socio Ordinario dell'Accademia delle Scienze, Lettere ed Arti di Napoli, Socio Straniero dell'Accademia Russa delle Scienze, Medaglia d'Oro per la Matematica dell'Accademia delle Scienze detta dei XL nel 1994, Premio Napoli per la ricerca scientifica nel 1997.

L'attuale situazione di emergenza sanitaria impedisce una partecipazione in presenza dei colleghi e dei familiari di Salvadori, in particolare dei figli Neri, Professore Ordinario di Economia Politica nell'Università di Pisa, e Arturo, pilota di aereo, prima militare e poi civile. Rivolgo il mio ringraziamento a Neri, che ha fornito copia di alcuni pannelli di una mostra documentaria per un convegno in onore del padre, tenutosi nel 2011.

Un ringraziamento anche a Salvatore Rionero, Socio della nostra Accademia, per le utilissime indicazioni.

Per quanto riguarda diversi aspetti scientifici, ha contribuito a questa breve commemorazione la collega Francesca Visentin, Professore Ordinario di Fisica Matematica nell'Università di Napoli. Visentin, allieva di Luigi Salvadori, è stata sua collaboratrice in una ventina di pubblicazioni, sui temi della stabilità e della biforcazione.

Personalmente, ho interagito con Luigi Salvadori per alcune questioni editoriali. Ricordo con affetto la sua simpatia per me e per i colleghi torinesi.

LUIGI GIACOMO RODINO

Giannantonio Pezzoli

(Bologna, 7 ottobre 1927 – Torino, 18 febbraio 2019)



Il 18 febbraio 2019 si è spento all'età di 91 anni il Prof. Giannantonio Pezzoli. Nacque a Bologna, nella cui celebre Università conseguì le lauree in Scienze Matematiche e Fisiche e in Ingegneria Civile. Bologna vide anche i suoi primi passi di studioso. Crebbe infatti alla scuola di Giulio Supino che lo accolse con entusiasmo nel suo Istituto, dove Pezzoli fu assistente alla cattedra di Idraulica tra il 1956 e il 1965. Egli ricordò sempre con affetto gli anni trascorsi a Bologna, nei quali ebbe modo di legarsi con sincera amicizia a Enrico Marchi, Antonello Rubatta e Giambattista Scarpi; giovani assistenti come lui e come lui capaci di divenire studiosi di vaglia e contribu-

ire a rinnovare le discipline idrauliche italiane.

Nel 1966 fu nominato Professore Straordinario, e poi Ordinario, per la cattedra di Idraulica nel Politecnico di Torino, dove gli fu affidata la direzione dell'Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Da allora, e per molti decenni, egli profuse tutti i suoi sforzi per la crescita dell'Istituto torinese. Diverse generazioni di valenti docenti e studiosi si formarono sotto la sua guida. Dotò l'Istituto di uno dei migliori laboratori italiani dedicati alle discipline idrauliche e di una fornitissima biblioteca, entrambi vanto ancor oggi del Politecnico.

La sua attività scientifica fu sempre di alto livello, coniugando il rigore e l'eleganza formale (che gli derivava dalla sua formazione matematica) con la pregnanza applicativa. Nella sua lunga vita di studioso ebbe modo di spaziare in molti ambiti delle discipline idrauliche, ogni volta lasciando contributi che sono ricordati per originalità e nitore. Si occupò di meccanica del moto ondosio, di trasporto solido, del moto delle correnti bifase solido-liquide, della

morfodinamica delle foci lagunari, della modellazione degli alvei fluviali, di interazione fluido-struttura in ambito sismico e della dinamica dei laghi. Contribuì anche a dare veste formale e quantitativa all'Idrologia tecnica, che allora muoveva i suoi primi passi.

La eccellente attività di ricerca gli valse nel 1972 la nomina a Socio corrispondente e nel 1986 a Socio nazionale dell'Accademia delle Scienze di Torino; fu inoltre Socio dal 1986 dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna. Numerose furono le sue conferenze, in Accademie e Convegni nazionali e internazionali.

Pur essendo stato uno dei più autorevoli teorici di meccanica dei fluidi, egli ha avuto sempre la capacità di mai perdere di vista i problemi concreti dell'ingegneria idraulica. Basti citare le sue appartenenze a diverse commissioni presso il Consiglio Superiore dei LL.PP., la sua nomina a membro del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e la sua partecipazione, insieme a Enrico Marchi e Augusto Ghetti, al gruppo di progettazione per la individuazione di soluzioni atte a difendere la laguna di Venezia dal fenomeno delle acque alte.

A livello più locale, fu chiamato a portare la sua esperienza e la sua conoscenza in diverse questioni importanti nella nostra regione. Fu membro del Comitato tecnico amministrativo del Provveditorato per le OO.PP. del Piemonte, della Commissione per la scelta dei siti di insediamento nucleare della Regione Piemonte e del Comitato tecnico scientifico per i piani di bacino dei fiumi Bormida, Scrivia e Toce della Regione Piemonte.

Gli studenti furono sempre parte fondamentale della vita accademica del Prof. Pezzoli. Insegnò l'Idraulica a generazioni di allievi del Politecnico ed ebbe la lungimiranza di creare nuovi corsi che dessero ai giovani le nuove competenze richieste dal mondo ingegneristico. Chi gli fu studente ricorda l'inusuale capacità di trattare argomenti complessi, laddove la grande chiarezza di esposizione non andava mai a discapito del rigore e delle finezze matematiche. Inoltre, rimangono nella memoria le sue digressioni storiche e il gusto per l'aneddoto rivelatore, frutto entrambi di una grande cultura.

Infine, egli ebbe sempre ben presente l'importanza di aprirsi a collaborazioni, didattiche e scientifiche, con atenei stranieri. Merita ricordare le regolari lezioni tenute per anni dal Prof. Biernachy del Politecnico di Gdansk e le numerose collaborazioni di ricerca col Prof. Berlamont, dell'Università Cattolica di Lovanio, e con il Prof. Walter Graf dell'EPFL di Losanna.

L'Ingegneria dell'Acqua italiana molto gli deve e qui lo ricordiamo con rispetto, stima e affetto.

LUCA RIDOLFI

Giovanni Barla

(Imperia, 30 marzo 1940 – Torino, 17 novembre 2019)



Il Prof. Ing. Giovanni Barla è prematuramente deceduto a Torino il 17 novembre 2019, all'età di 79 anni. Imperiese di nascita, frequentò il Politecnico di Torino dove si laureò nel 1965 in Ingegneria mineraria discutendo una brillante tesi su *Analisi dei moti mediante modello meccanico nel sollevamento artificiale di liquidi*.

All'inizio degli anni Sessanta fu anche mio allievo, quando giovane assistente curavo le esercitazioni del corso di Arte Mineraria: è stato un allievo di livello superiore, che redigeva le esercitazioni non solo in modo ingegneristicamente ineccepibile, ma anche in bella scrittura e con disegni precisi ed ordinati, tant'è che i suoi elaborati servirono per vari anni a spiegare le esercitazioni ai nuovi allievi.

Subito dopo la laurea, nel giugno 1965, vinse la borsa di studio «Fullbright» nell'ambito del Programma di scambi internazionali Italia-Stati Uniti d'America e la «Higgins Fellowship» che gli consentì di accedere alla *Henry Krumb School of Mines* della Columbia University di New York: vi si specializzò in Meccanica delle rocce, ottenendo nel 1967 il MScEng e nel 1970 il DrSc Eng con una tesi sulle soluzioni analitiche e numeriche (metodo degli elementi finiti) per il calcolo delle tensioni nell'intorno di cavità sotterranee di diversa forma: in tutti i casi le soluzioni hanno trovato conferma in prove sperimentali su modelli fisici.

Nel 1970 rientrò al Politecnico di Torino ove impostò nell'allora Istituto di Arte Mineraria il primo corso di Meccanica delle rocce in un'università italiana e lo insegnò sino alla pensione.

Barla è stato parte di quel limitatissimo gruppo di ricercatori e studiosi che in Europa, per primi hanno studiato, sviluppato ed applicato il metodo degli elementi finiti alla meccanica dei terreni e delle rocce.

SOMMARIO		
N. PASSO	ELEMENTO MONODIMENSIONALE	EQUAZIONE GENERALE
① CREAZIONE DEL MODELLO	$u(x) = \left(1 - \frac{x}{L}\right) \begin{bmatrix} u_i \\ u_j \end{bmatrix}$	$[u] = [H][u]_e$
② APPROSSIMAZIONE DELLA FUNZIONE INCIGNITA	$[k]_e = \frac{S_e E}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$	$[k]_e = \int_V [B]^T [C] [B] dV$
③ CALCOLO DELLA RIGIDEZZA		
④ EQUAZIONE DI EQUILIBRIO DEL MODELLO	$[X] = [K][u]$	$[X] = [K][u]$
⑤ INTRODUZIONE DELLE CONDIZIONI DI CONTORNO E RISOLUZIONE		
⑥ VALUTAZIONE DI DEFORMAZIONI E SOLLECITAZIONI	$\epsilon = \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_i \\ u_j \end{bmatrix}$ $\sigma = E \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_i \\ u_j \end{bmatrix}$	$[\epsilon] = [B][u]_e$ $[\sigma] = [C][B][u]_e$

Fig. 1. Processo di equazioni e matrici di base che sono il principio teorico del metodo di calcolo agli elementi finiti, predisposti per l'avvio degli studenti a questo tipo di calcolo.

Durante i primi anni di Politecnico l'impegno nell'attività didattica si alternò a quello profuso nella ricerca scientifica, in particolare con lo sviluppo del Laboratorio di Meccanica delle rocce presso lo stesso Istituto e la diffusione dei metodi di calcolo numerico nei diversi settori dell'Ingegneria Geotecnica in una visione moderna della disciplina che coniuga la Meccanica delle rocce e la Meccanica delle terre in un contesto ingegneristico ed applicativo: caratterizzano questo periodo alcuni contributi sulle prove in laboratorio, con interesse nel comportamento anisotropo delle rocce a livello teorico e sperimentale.

È anche di questo periodo la pubblicazione di alcuni scritti significativi: due volumetti su *L'applicazione dei metodi delle tensioni e degli elementi finiti diffusi* a cura dell'Istituto di Geologia del CNR di Padova (1972); del capitolo 45.1, Volume VII, dell'Enciclopedia dell'Ingegneria dell'Istituto Editoriale Internazionale (ISEDI) sulla Meccanica dei Terreni e delle Rocce (1973), in collaborazione con Michele Jamiolkowski; delle Dispense del corso di Meccanica delle rocce, *Meccanica delle rocce – teoria e applicazioni* (CLUT, Torino: vol. 1, 1974 e vol. 2, 1976), che sono una sintesi dei principali strumenti di lavoro teorici, sperimentali ed applicativi nell'Ingegneria Geotecnica.

Fu Vicepresidente internazionale della ISRM (*International Society for Rock Mechanics*) con delega per l'Europa dal 1995 al 1999. Fu questo un periodo di straordinaria notorietà per il Politecnico di Torino nel nostro settore disciplinare, poiché nel medesimo periodo Michele Jamiolkowski, professore di geotecnica, fu Presidente dell'Associazione Internazionale di geotecnica e io, che insegnavo Costruzione di gallerie, fui Presidente della ITA/AITES – *International Tunnelling Association*.

I campi di studio e di ricerca ai quali Giovanni Barla si dedicava con rigore e impegno, portarono alla organizzazione del I Ciclo di Conferenze sul Metodo degli Elementi Finiti il 13-16 maggio 1975.

La ricerca sulla meccanica delle rocce si allargò così, in modo graduale, dalle problematiche riguardanti la statica delle gallerie, ai fronti di scavo ed ai pendii naturali, anche nell'ottica di preparare strumenti di analisi di uso ingegneristico: particolare è lo sviluppo del codice di calcolo Geons, per le verifiche di stabilità con i metodi dell'equilibrio limite, che troverà poi ampia diffusione nelle Società e Studi di Ingegneria Geotecnica.

Nel 1976, la Columbia University di New York, *School of Engineering and Applied Science*, rivolse la collaborazione di Giovanni Barla: tornò negli Stati Uniti come *Associate Professor of Rock Mechanics* con il compito di preparare presso la stessa università corsi a livello *graduate* sui metodi numerici applicati alla meccanica delle rocce ed all'ingegneria geotecnica, svolgendo nel contempo ricerche sperimentali e teoriche sulla statica dei vuoti minerari oltre a redigere le note di un corso su *Numerical methods in geotechnical Engineering*, che tenne per due anni consecutivi.

La permanenza negli Stati Uniti è caratterizzata dalle numerose conferenze e lezioni tenute in diverse Università, con la possibilità di prendere parte ai più significativi sviluppi della ricerca della Meccanica e dell'Ingegneria delle rocce allora in atto negli USA, anche gestendo lo sviluppo di ricerche finanziate dal Dipartimento USA per l'Energia e dal *Bureau of Mines*.

Tornato in Italia nel 1978, riprese l'insegnamento di Meccanica delle rocce presso il Politecnico di Torino e nel novembre 1980 venne chiamato a coprire la cattedra di Meccanica delle Rocce, avendo vinto il relativo concorso.

La singolare capacità acquisita nel coniugare studi teorici ed applicativi porta alla fondazione, in quel periodo, della *Geoanalysis*, una Società di Ingegneria che si caratterizzerà negli anni successivi per diverse ed importanti applicazioni dell'analisi numerica alla soluzione dei problemi di Ingegneria Geotecnica, continuando a dedicarsi con il più vivo interesse ai metodi di analisi numerica ed in particolare al Metodo degli Elementi Finiti e ciò in una visione che va oltre le applicazioni di Ingegneria Geotecnica.

In quel periodo Giovanni Barla prese lo spunto per avviare un gruppo di lavoro, formato da giovani docenti del Politecnico di Torino, con lo scopo di scrivere un testo volto ad offrire un supporto didattico alla trattazione del Metodo degli Elementi Finiti. Questo testo, che venne distribuito in occasione del II Ciclo di Conferenze sul Metodo degli Elementi Finiti, il 13-16 maggio 1980, descrive i fondamenti del metodo ed esamina alcuni problemi di interesse nei vari campi dell'ingegneria: il problema elasticostatico, il problema elastico dinamico, il problema del flusso termico per conduzione, il problema del flusso di un fluido in un materiale poroso. A corredo dell'esposizione teorica, che si estende per i primi undici capitoli, sono allegati ed illustrati nel capitolo dodicesimo due programmi di calcolo per elaboratore.

Nel 1981 venne invitato in Cina dall'Accademia Sinica per un periodo di insegnamento in diverse università e centri di ricerca, tra cui in particolare l'Istituto di Meccanica delle terre e delle rocce di Wuhan. Fu questa anche l'occasione per visitare diversi siti di notevole interesse tecnico e scientifico, in relazione alle importanti opere di ingegneria realizzate ed in corso di realizzazione in questo paese. Le lezioni sulla caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi e sulle opere in sotterraneo, tenute a Pechino, Hantzhou, Shanghai, Wuhan, saranno poi tradotte in cinese. Questa visita, della durata di un mese, offrì anche l'occasione per consolidare i rapporti di ricerca con diversi studiosi che nei primi anni Ottanta vennero poi al Politecnico di Torino per un periodo di lavoro congiunto sull'analisi numerica e sulle applicazioni di Ingegneria Geotecnica e prepararono una continua collaborazione con le università cinesi, che impegnò 40 anni della sua vita e che divenne particolarmente intensa dopo la sua messa in quiescenza dal Politecnico.

Via via che l'attività si concentrò sullo studio dei problemi applicativi di Meccanica ed Ingegneria delle rocce con significativo rigore metodologico, Barla promosse, nell'intento di portare contributi della ricerca scientifica in un settore pervaso perlopiù dall'approccio empirico, *the Art of Tunneling*, cioè basato sull'esperienza, i cicli di conferenze di Meccanica ed Ingegneria



Fig. 2. Giovanni Barla ritratto in un cantiere in Cina in occasione di uno dei suoi numerosi viaggi di studio e di insegnamento.

delle Rocce (MIR) di Torino: nella presentazione dell'iniziativa, in occasione del primo ciclo (MIR86) sul tema «Recenti sviluppi e nuovi orientamenti nel campo delle gallerie», tenutosi il 25-28 novembre 1986, egli scrisse:

Per quanto la meccanica delle rocce sia relativamente giovane [...] le conoscenze sul comportamento meccanico delle rocce e degli ammassi rocciosi sono fondate su solide basi, peraltro confortate da molte applicazioni ingegneristiche. È necessario che queste stesse conoscenze possano essere trasferite più rapidamente alla sede progettuale ed alla fase esecutiva.

Le conferenze, tenute a cadenza biennale, sono proseguite sino al 2017 giungendo al XVI ciclo e sono diventate punto di richiamo nel settore, a livello nazionale ed internazionale, grazie anche ai volumi degli atti sistematicamente pubblicati sui diversi temi.

Di sicuro rilievo sono anche gli studi, condotti a partire dal 1980, sui grandi vuoti minerari nelle formazioni saline della Sicilia orientale. Le prime esperienze nelle miniere di Pasquasia e di Racalmuto di sali potassici e di

salgemma, con ricerche di tipo sperimentale in laboratorio ed in sito, hanno contribuito in modo determinante alla valutazione del comportamento viscoso delle rocce incassate ed incassanti. Le stesse ricerche sono state utilizzate, ad esempio, per pianificare l'abbandono in condizioni controllate di sicurezza della Miniera di San Cataldo. Con riferimento specifico alle miniere di Petralia di salgemma alimentare e Realmonte di sali potassici, l'attenzione fu rivolta alla possibilità di incrementare il recupero del minerale salino, prospettando l'abbattimento delle solette tra vuoto e vuoto: l'analisi numerica del problema, condotta in stretta connessione con il monitoraggio del comportamento delle strutture minerarie in corso di scavo, divenne strumento di previsione per gli sviluppi del piano di coltivazione mineraria.

Nel 1989 l'incarico di contribuire al progetto di grandi serbatoi strategici sotterranei di idrocarburi in calcare tenero (chalk) orientò la ricerca sperimentale e teorica di Barla verso le rocce tenere con la messa a punto di metodi sperimentali innovativi per la caratterizzazione geotecnica in laboratorio ed in sito, l'analisi statica e dinamica in presenza di sisma di grandi cavità in rocce tenere, la simulazione delle complesse problematiche poste, in quel caso, dall'esigenza di considerare l'interazione terreno-struttura-fluido di stoccaggio. Le incertezze nel caso specifico motivate dall'assenza di similari casi precedenti hanno portato all'adozione di un metodo interattivo di progettazione, basato sullo svolgimento di analisi numeriche a ritroso e confronti tra i risultati del calcolo e delle misure sperimentali durante gli scavi: l'opera, costituita da due grandi serbatoi di 40,000 m³ di stoccaggio ciascuno, è stata seguita in tutto il periodo di costruzione, dal 1990 al 1998; essa è oggi in esercizio e viene considerata come la più significativa del settore, per la dimensione e per le soluzioni progettuali adottate, anche in relazione alle scadenti caratteristiche dell'ammasso roccioso in cui essa è ubicata. Ragioni di riservatezza strategica militare hanno impedito la diffusione di informazioni tecniche.

Di rilevante interesse sono anche i numerosi studi svolti da Barla sui pendii naturali, in particolare sulle grandi frane profonde di versante, dove lo scopo è stato quello di mettere a punto metodi di analisi previsionale sulle fasi di innesco dei fenomeni e sulle successive modalità di evoluzione. L'interesse per queste problematiche, è stato motivato, in un primo tempo, dal coordinamento della Commissione Eventi Naturali della Regione Piemonte, nel periodo 1990-1995, nonché dai diversi interventi operati in più zone del Paese, in concomitanza di eventi alluvionali.

È anche da rilevare che, con l'affinarsi graduale dei metodi di analisi numerica, accompagnati dalle maggiori conoscenze nel frattempo acquisite sul comportamento meccanico degli ammassi rocciosi a livello sperimentale,



Fig. 3. Deformazione della sezione.

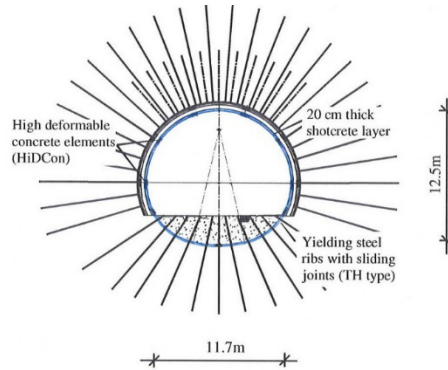


Fig. 4. Rinforzo e irrigidimento della massa rocciosa al contorno mediante lunghi bulloni d'armatura radiali *full-round*.



Fig. 5. Sostegno di prima fase realizzato con centine a cedimento controllato e blocchi cedevoli interposti nel carapace di calcestruzzo proiettato.

l'attenzione di Barla è andata spostandosi verso la messa a punto di approcci diversi per considerare la presenza delle discontinuità, definendo in particolare la modellazione discontinua con il metodo degli elementi distinti, per problemi di tipo meccanico o di flusso idraulico. Ne sono seguiti studi volti al calcolo di gallerie e cavità sotterranee o di pendii naturali, con l'opportunità di sperimentare la capacità previsionale dello stesso metodo a confronto con i risultati di misure in corso d'opera.

Organismi culturali scientifici e didattici

Nel 1995 Barla, come già detto eletto, viene eletto a Tokyo Vice Presidente della ISRM, *International Society for Rock Mechanics*, con delega per l'Europa (la ISRM è l'Associazione Internazionale di Meccanica delle Rocce che conta attualmente oltre 5000 soci, di cui oltre 3000 in Europa).

Ne consegue, nel periodo 1995-1999, un'intensa attività di tipo scientifico ed organizzativo, con visite ai differenti gruppi nazionali europei, in particolare in occasione di convegni, simposi e workshop, tra cui i symposium annuali denominati Eurock, nonché nel 1999 il X Congresso Internazionale di Parigi. Di rilievo, sempre con riferimento alla ISRM, è in questo periodo il coordinamento della *Commission on Squeezing Rocks in Tunnels*, che porta alla definizione delle condizioni spingenti, alla sintesi sui metodi di identificazione e quantificazione di tali condizioni, alla formalizzazione dei metodi di analisi progettuale, anche attraverso diversi incontri tecnici e workshop sull'argomento. Di sicuro rilievo è anche, nel 1996, il coordinamento scientifico ed organizzativo di Eurock '96, il Simposio Internazionale della ISRM dedicato a «Prediction and Performance in Rock Mechanics and Rock Engineering» che ha portato al Lingotto di Torino oltre 400 studiosi da 34 Paesi. Questa iniziativa ha visto la pubblicazione dei tre volumi degli Atti.

Nel 1996 è eletto Presidente dell'AGI, l'Associazione Geotecnica Italiana. Nel periodo di carica, che va dal 1997 al 2003, determinante è l'azione intrapresa nel dare nuova vitalità a tale associazione, rinnovare la «Rivista Italiana di Geotecnica», coordinare numerose iniziative volte alla divulgazione dell'Ingegneria Geotecnica, tra cui l'organizzazione di incontri tecnici e corsi di formazione continua in diverse sedi, il coordinamento scientifico ed organizzativo dei Convegni Nazionali di Parma (1999) e dell'Aquila (2002).

È stato membro della Commissione Prefettizia per la Statica del Duomo della Veneranda Fabbrica del Duomo di Milano, dal 2002.

Dal 1993 al 1999 è stato Presidente del Settore di Ingegneria Civile ed Edile nel Politecnico di Torino e, tra il 1995 ed il 1997, anche Vicepresidente della Facoltà di Ingegneria.

Nel 2003 è eletto Direttore del Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica del Politecnico di Torino.

Nel 2008 è stato chiamato dal Rettore a tenere la prolusione ai corsi per l'inaugurazione dell'anno accademico di Torino; trattò un tema d'attualità: «Sviluppi e potenzialità della geotermia di nuova generazione».

Riviste Internazionali

- *Editor* di «Rock Mechanics and Rock Engineering», in collaborazione con Kalman Rovari della ETC di Zurigo e con Herbert Einstein del MIT di Boston, rivista internazionale con elevato IF nel settore delle Scienze della Terra, pubblicata dalla Springer&Verlag di Vienna e New York dal 2001.
- *Membro dell'Editorial Board* di «International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences», pubblicata da Elsevier, 1972-2001.
- *Membro dell'Editorial Board* di «International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics», John Wiley, 1999-2001.
- *Membro dell'Editorial Board* di «International Journal of Geomechanics», ASCE, dal 2001.

SEBASTIANO PELIZZA

Emiliano Bruno

(Pola, Istria, 11 novembre 1938 – Torino, 16 gennaio 2020)



Il 16 gennaio 2020, è purtroppo venuto a mancare il Prof. Emiliano Bruno, all'età di 82 anni. Il Prof. Bruno nasce a Pola l'11 novembre 1938 da dove viene poi «sfollato» insieme alla sua famiglia a Sezzadio, un piccolo comune di 1.200 abitanti in provincia di Alessandria. Si trasferisce nel 1947 a Genova, città in cui si diploma al liceo scientifico e in cui rimane fino al termine degli studi universitari. Proprio relativamente alla scelta degli studi universitari, il Prof. Bruno fu combattuto tra la medicina e la geologia. Raccontò che la sua scelta cadde sulla geologia dopo aver assistito ad un'esercitazione di medicina su di un cadavere.

Si laureò in Scienze Geologiche nel 1962. Nel medesimo anno, dopo aver rinunciato ad una posizione da ricercatore a Baltimora (USA), venne assunto come assistente alla cattedra di Mineralogia della Facoltà di Scienze MFN, presso l'allora Istituto di Mineralogia, Cristallografia e Geochimica «Giorgio Spezia» dell'Università di Torino, dove poi divenne Professore Ordinario in Mineralogia nel 1980. Presso l'Ateneo torinese tenne diversi incarichi di insegnamento, dalla Petrografia tra il 1963 e il 1967, alla Mineralogia Applicata tra il 1967 e il 1968, dalla Geochimica dal 1968 al 1979 (fig. 1) fino alla Mineralogia, quest'ultima tenuta dal 1980 fino al suo pensionamento.

Il Prof. Bruno è stato Socio della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia già dal 1963 (fig. 2) e nel biennio 1992-1993 ne è stato Presidente. Agli inizi degli anni Ottanta, è stato Direttore dell'Istituto di Mineralogia, Cristallografia e Geochimica «Giorgio Spezia» e dal 1984 (anno in cui l'Istituto di Mineralogia si è riunito con gli Istituti di Petrografia e di Geologia), il

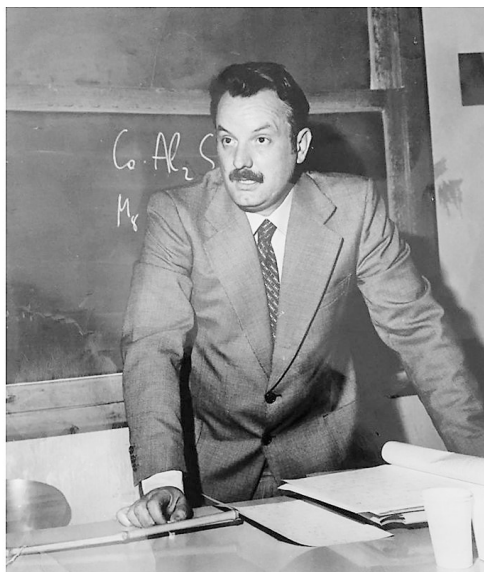


Fig. 1. Emiliano Bruno negli anni Settanta durante una sua lezione sulla famiglia mineralogica dei feldspati.



Fig. 2. Emiliano Bruno (al centro dell'immagine) in compagnia di Giovanni Ferraris (sulla sinistra) e di Marinella Franchini e Francesco Abbona (sulla destra) in una fotografia dei primi anni Sessanta.

Prof. Bruno è stato Direttore del Dipartimento di Scienze della Terra. A partire dall'11 aprile 1984, il Prof. Bruno è stato Socio corrispondente dell'Accademia delle Scienze di Torino nella Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali (sezione: Scienze della Terra). Il Prof. Bruno è stato ancora Direttore del Dipartimento di Scienze Mineralogiche e Petrologiche negli anni Novanta e dal 2006 fino al 30 settembre 2009 (anno in cui entrò in fuori ruolo).

Il Prof. Bruno ha svolto la propria attività di ricerca nell'ambito della mineralogia sperimentale e della cristallografia di feldspati e pirosseni, due tra le più abbondanti famiglie di minerali dalla crosta al mantello terrestre. In particolare, ha dato importanti contributi allo studio delle transizioni di fase, dei processi di ordinamento e della definizione sperimentale dei campi di stabilità in funzione di pressione, temperatura e composizione. Ha pubblicato i suoi tre primi articoli su riviste scientifiche internazionali tra il 1970 e il 1972 sulle trasformazioni di fase dei feldspati alcalino-terrosi («*Zeitschrift für Kristallographie*»; «*Contributions to Mineralogy and Petrology*»). Grazie a tali studi riuscì ad ottenere una fama internazionale nello studio di questa importante famiglia di minerali e fu invitato nel 1972 come *key lecturer* presso la *NATO Advanced Study Institute of Feldspar* a Manchester. Il Prof. Bruno ha certamente dato un grande contributo anche allo studio dei clinopirosseni e ortopirosseni, investigati sia in condizioni ambientali che in condizioni non ambientali e pubblicando diversi articoli su questa famiglia di minerali a partire dal 1981. È stato Coordinatore centrale del Progetto Nazionale di ricerca «Cristallografia e Petrogenesi» dal 1984 al 1988.

Di lui è fondamentale ricordare il suo grande rigore scientifico e la sua grande attitudine verso gli studi sperimentali con uno sguardo sempre rivolto alle nuove tecnologie. Proprio a partire dai primi anni Ottanta, e grazie alla grande spinta venuta dai suoi contributi scientifici, il Prof. Bruno fu in grado di installare nel 1984 presso i laboratori del Dipartimento di Scienze della Terra una tra le strumentazioni più significative ancora oggi per la mineralogia sperimentale, il *piston cylinder* (fig. 3), utile alla sintesi di minerali in varie condizioni di pressione e temperatura. Allo stesso tempo fu in grado di acquistare un apparato per la sintesi in condizioni idrotermali e più recentemente un forno verticale per raggiungere temperature molto elevate. Di grande rilevanza per quegli anni, fu anche il contributo che il Prof. Bruno, in collaborazione con il Prof. Ferraris, diede per l'acquisto di un Microscopio Elettronico a Trasmissione, strumento tra i pochi in Italia in quegli anni capace di investigare la materia fino alla scala dei nanometri e che ha certamente contribuito a fornire una grande visibilità internazionale alla mineralogia torinese. Anche negli ultimi dieci anni della sua carriera, il Prof. Bruno ha dimostrato la sua grande predilezione verso gli studi di mineralogia sperimentale in condizioni non ambientali acquisendo un microforno per le misure in diffrazione a

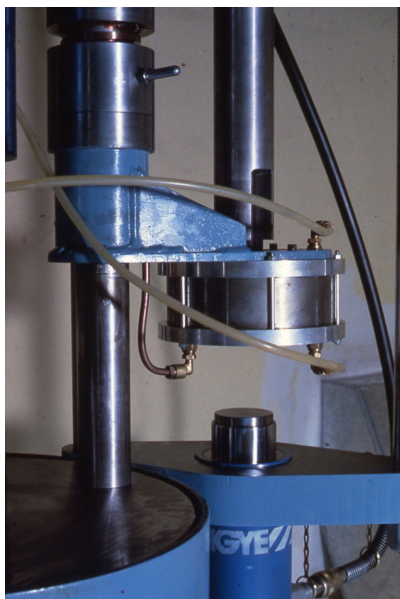


Fig. 3. Dettaglio del *piston cylinder* acquistato nel 1984 dal Prof. Bruno (la visuale dell'immagine è di circa 30 cm). La strumentazione permette di sintetizzare minerali di composizione d'interesse a varie condizioni di pressione (fino a 25 kbar) e temperatura (fino a 2500 °C).

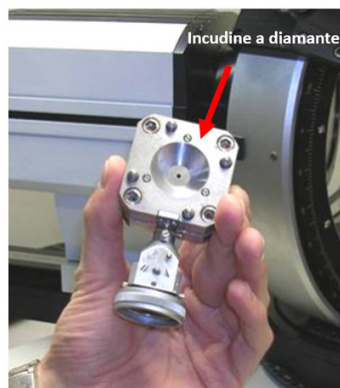
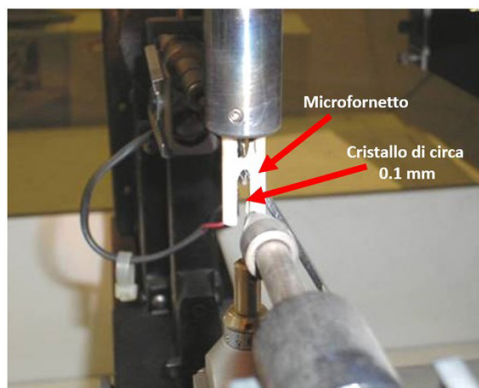


Fig. 4. Sulla sinistra un microfornetto per studiare i minerali in condizioni di alta temperatura in situ tramite diffrazione a raggi X. Sulla destra una incudine a diamante utilizzata per le misure in condizioni di alta pressione dei cristalli ancora attraverso la diffrazione a raggi X.



Fig. 5. I collaboratori più stretti del Prof. Bruno: Piera Benna (sinistra), Nadia Curetti (al centro) e Fabrizio Nestola (destra) ad un congresso per la presentazione di una delle pubblicazioni sui feldspati ad alta pressione.

raggi X in alta temperatura in situ e la cosiddetta «incudine a diamante» per le misure in alta pressione anche in questo caso in situ (fig. 4).

Certamente è stato il punto di riferimento per i suoi più stretti collaboratori di quegli anni (fig. 5).

Oltre alle sue doti di scienziato rigoroso e quasi pignolo, si deve ricordare il Prof. Emiliano Bruno come una persona estremamente onesta e molto riservata. Portava avanti il suo lavoro di ricerca scientifica con passione e, nonostante la sua nota e proverbiale austerità, era molto rispettato e apprezzato da tutti gli studenti che frequentavano i suoi corsi.

Il Prof. Bruno ci ha purtroppo lasciati all'età di 82 anni e fino all'ultimo ha contribuito alla sua amata mineralogia sperimentale con un'ultima pubblicazione nel 2017 sulla transizione di fase in alta pressione del feldspato di bario pubblicata sulla rivista «Physics and Chemistry of Minerals».

FABRIZIO NESTOLA*

PIERA BENNA**

* Accademia delle Scienze di Torino.

** Dip. di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino, Via Valperga Caluso, 35, 10125 Torino; e-mail: piera.benna@unito.it.

Pubblicazioni su riviste *peer-reviewed* di Emiliano Bruno

1. (con G. Gazzoni). *Ricerche roentgenografiche su plagioclasti bytownitico-anortitici tra 15°C e 1300°C*, in «Periodico di Mineralogia», 36, 1967, pp. 683-698.
2. (con D. Aquilano, G. Gazzoni). *Assorbimento nell'infrarosso tra 1400 e 300 cm⁻¹ di feldspati calcici nell'intervallo di temperatura 30°-240°C*, in «Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia», 24, 1968, pp. 1-17.
3. (con G. Gazzoni). *Feldspati sintetici della serie Ca[Al₂Si₂O₈]-Sr[Al₂Si₂O₈]*, in «Atti dell'Accademia delle Scienze di Torino», 102, 1968, pp. 881-893.
4. (con G. Gazzoni). *Feldspati sintetici della serie Sr[Al₂Si₂O₈]-Ba[Al₂Si₂O₈]*, in «Atti dell'Accademia delle Scienze di Torino», 103, 1969, pp. 1-15.
5. *Sulla non stechiometria nei feldspati*, in «Atti dell'Accademia delle Scienze di Torino», 105, 1970, pp. 97-108.
6. (con G. Gazzoni). *Feldspati sintetici della serie Sr[Al₂Si₂O₈]-Pb[Al₂Si₂O₈]*, in «Periodico di Mineralogia», 39, 1970, pp. 245-253.
7. (con G. Gazzoni). *Single-crystal x-ray investigations on strontium feldspar*. Zeitschrift für Kristallographie, New Crystal Structures, 132, 1970, pp. 327-331.
8. (con G. Gazzoni). *On the system Ba[Al₂Si₂O₈]-Ca[Al₂Si₂O₈] – I. Ca-Ba substitution in polymorphic modifications of Ba[Al₂Si₂O₈]*, in «Contributions to Mineralogy and Petrology», 25, 1970, pp. 144-152.
9. (con A. Facchinelli). *Al,Si configurations in lead feldspar*, in «Zeitschrift für Kristallographie – New Crystal Structures», 136, 1972, pp. 296-304.
10. (con A. Facchinelli). *Correlations between the unit-cell dimensions and the chemical and structural parameters in plagioclases and alkaline-earth feldspars*, in «Bulletin de Minéralogie», 97, 1974, pp. 378-385.
11. (con A. Facchinelli). *Experimental studies on anorthite crystallization along the join CaAl₂Si₂O₈-SiO₂*, in «Bulletin de Minéralogie», 97, 1974, pp. 422-432.
12. (con G. Chiari, M. Calleri, P.H. Ribbe). *The structure of partially disordered, synthetic strontium feldspar*, in «American Mineralogist», 60, 1975, pp. 111-119.
13. (con A. Facchinelli). *Crystal-chemical interpretation of crystallographic anomalies in lunar plagioclases*, in «Bulletin de Minéralogie», 98, 1975, pp. 113-117.
14. (con G. Chiari, A. Facchinelli). *Anorthite quenched from 1530°C. I. Structure refinement*, in «Acta Crystallographica», B32, 1977, pp. 3270-3280.
15. (con G. Chiari, A. Facchinelli). *Anorthite quenched from 1530°C. II. Discussion*, in «Acta Crystallographica», B34, 1978, pp. 1757-1764.
16. (con G. Chiari, A. Facchinelli). *The structure of bytownite quenched from 1723 K*, in «Acta Crystallographica», B35, 1979, pp. 42-45.
17. (con P. Benna, A. Facchinelli). *X-ray determination and equilibrium composition of clinopyroxenes in the system CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂*, in «Contributions to Mineralogy and Petrology», 78 (3), 1981, pp. 272-278.
18. (con S. Carbonin, G. Molin). *Crystal structures of Ca-rich clinopyroxenes on the*

- CaMgSi₂O₆-Mg₂Si₂O₆ join*, in «TMPM Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen», 29 (4), 1982, pp. 223-240.
19. *Clinopyroxene solid solutions in the system: CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂. A review*, in «Periodico di Mineralogia», 52 (3), 1983, pp. 303-325.
 20. (con G. Chiari, P. Benna). *The structure of bytownite (An₈₈). A new refinement*, in «Zeitschrift für Kristallographie – New Crystal Structures», 169 (1-4), 1984, pp. 35-49.
 21. (con P. Benna, G. Zanini). *Cell parameters of thermally treated anorthite. Al, Si configurations in the average structures of the high temperature calcic plagioclases*, in «Contributions to Mineralogy and Petrology», 90 (4), 1985, pp. 381-385.
 22. (con C. Rinaudo, G. Zanini). *Experimental growth and crystal morphology of diopside (CaMgSi₂O₆) crystallized by continuous cooling rate in the range 1400-1360 °C*, in «Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte», 1986, pp. 23-29.
 23. (con P. Benna, G. Chiari). *Structural modifications in clinopyroxene solid solutions: The Ca-Mg and Ca-Sr substitutions in the diopside structure*, in «Mineralogy and Petrology», 36 (1), 1987, pp. 71-84.
 24. (con P. Benna, M. Tribaudino). *Crystal structure of Di₅₀CaTs₅₀ synthetic clinopyroxene (CaMg_{0.50}AlSi_{1.5}O₆). Crystal chemistry along the Di-CaTs join*, in «Mineralogy and Petrology», 38 (3), 1988, pp. 189-200.
 25. (con M. Tribaudino, P. Benna). *Average structure and M2 site configurations in C2/c clinopyroxenes along the Di-En join*, in «Contributions to Mineralogy and Petrology», 103 (4), 1989, pp. 452-456.
 26. (con P. Benna, M. Tribaudino, G. Zanini). *The crystal structure of Ca_{0.8}Mg_{1.2}Si₂O₆ clinopyroxene (Di₈₀En₂₀) at T = -130°, 25°, 400° and 700°C*, in «Zeitschrift für Kristallographie – New Crystal Structures», 192 (3-4), 1990, pp. 183-199.
 27. (con M. Tribaudino). *Effect of Al on enstatite solubility in CMAS clinopyroxenes: 1 - experimental results in the clinopyroxene-orthopyroxene two phase field at P = 18 kbar*, in «European Journal of Mineralogy», 5 (1), 1993, pp. 123-131.
 28. (con M. Tribaudino, P. Benna). *I1-I2/c phase transition in alkaline-earth feldspars along the CaAl₂Si₂O₈-SrAl₂Si₂O₈ join: Thermodynamic behaviour*, in «Physics and Chemistry of Minerals», 20 (4), 1993, pp. 221-227.
 29. (con M. Tribaudino, G.M. Molin). *Effect of Al on enstatite solubility in CMAS clinopyroxenes: 2 - crystal chemical considerations*, in «European Journal of Mineralogy», 6 (1), 1994, pp. 77-86.
 30. (con M. Tribaudino, P. Benna). *I1-I2/c phase transition in alkaline-earth feldspars: evidence from TEM observations of Sr-rich feldspars along the CaAl₂Si₂O₈-SrAl₂Si₂O₈ join*, in «American Mineralogist», 80 (9-10), 1995, pp. 907-915.
 31. (con P. Benna, M. Tribaudino). *Al-Si ordering in Sr-feldspar SrAl₂Si₂O₈: IR, TEM and single-crystal XRD evidences*, in «Physics and Chemistry of Minerals», 22 (6), 1995, pp. 343-350.
 32. (con P. Benna, M. Tribaudino). *The structure of ordered and disordered lead feldspar (PbAl₂Si₂O₈)*, in «American Mineralogist», 81 (11-12), 1996, pp. 1337-1343.
 33. (con M. Tribaudino, P. Benna). *Structural variations induced by thermal treatment in lead feldspar (PbAl₂Si₂O₈)*, in «American Mineralogist», 83 (1-2), 1998, pp. 159-166.

34. (con M. Tribaudino, P. Benna, M. Hanfland). *High pressure behaviour of lead feldspar ($PbAl_2Si_2O_8$)*, in «Physics and Chemistry of Minerals», 26 (5), 1999, pp. 367-374.
35. (con P. Benna, M. Tribaudino). *High-temperature in situ structural investigation on lead feldspar*, in «American Mineralogist», 84 (1-2), 1999, pp. 120-129.
36. (con M. Tribaudino, P. Benna). *TEM observations on the P-I phase transition in feldspars along the join $CaAl_2Si_2O_8$ - $SrAl_2Si_2O_8$* , in «American Mineralogist», 85 (7-8), 2000, pp. 963-970.
37. (con P. Benna, M. Tribaudino). *I1-I2/c ferroelastic phase transition in the $Ca_{0.2}Pb_{0.8}Al_2Si_2O_8$ feldspar as a function of temperature*, in «Mineralogical Magazine», 64 (2), 2000, pp. 285-290.
38. (con P. Benna). *Single-crystal in situ high-temperature structural investigation on strontium feldspar*, in «American Mineralogist», 86 (5-6), 2001, pp. 690-696.
39. (con P. Benna). *Single-crystal in situ high-temperature structural investigation of the I1-I2/c phase transition in $Ca_{0.2}Sr_{0.8}Al_2Si_2O_8$ feldspar*, in «American Mineralogist», 88 (10), 2003, pp. 1532-1541.
40. (con F. Nestola, T. Boffa Ballaran, P. Benna, M. Tribaudino). *High-pressure phase transitions in $Ca_{0.2}Sr_{0.8}Al_2Si_2O_8$ feldspar*, in «American Mineralogist», 89 (10), 2004, pp. 1474-1479.
41. (con M. Tribaudino, P. Benna, F. Nestola, C. Meneghini). *Thermodynamic behaviour of the high-temperature $PI\text{-}I\Gamma$ phase transition along the $CaAl_2Si_2O_8$ - $SrAl_2Si_2O_8$ join*, in «Physics and Chemistry of Minerals», 32 (4), 2005, pp. 314-321.
42. (con P. Benna). *Long-range Al,Si equilibrium configuration in Sr feldspar treated at high temperatures*, in «Mineralogical Magazine», 70 (1), 2006, pp. 65-71.
43. (con P. Németh, M. Tribaudino, P.R. Buseck). *TEM investigation of Ca-rich plagioclase: Structural fluctuations related to the I-P phase transition*, in «American Mineralogist», 92 (7), 2007, pp. 1080-1086.
44. (con P. Benna, F. Nestola, T. Boffa Ballaran, T. Balić-Žunić, L.F. Lundegaard). *The high-pressure structural configurations of $Ca_{0.2}Sr_{0.8}Al_2Si_2O_8$ feldspar: The I1-I2/c and I2/c-P21/c phase transitions*, in «American Mineralogist», 92 (7), 2007, pp. 1190-1199.
45. (con F. Nestola, N. Curetti, P. Benna, G. Ivaldi, R.J. Angel). *Compressibility and high-pressure behavior of $Ab_{63}Or_{27}An_{10}$ anorthoclase*, in «Canadian Mineralogist», 46 (6), 2008, pp. 1443-1454.
46. (con N. Curetti, L.M. Sochalski-Kolbus, R.J. Angel, P. Benna, F. Nestola). *High-pressure structural evolution and equation of state of analbite*, in «American Mineralogist», 96 (2-3), 2011, pp. 383-392.
47. (con F. Pandolfo, T. Boffa Ballaran, F. Nestola, M.K. Müller, M. Mrosko). *High-pressure I2/c-P21/c phase transformation in $SrAl_2Si_2O_8$ feldspar*, in «American Mineralogist», 96 (7), 2011, pp. 1182-1185.
48. (con N. Curetti, P. Benna). *High-pressure equation of state and phase transition in $PbAl_2Si_2O_8$ feldspar*, in «American Mineralogist», 100 (7), 2015, pp. 1568-1577.
49. (con N. Curetti, P. Benna). *High-pressure structural configuration and phase transition in celsian, $BaAl_2Si_2O_8$* , in «Physics and Chemistry of Minerals», 44 (3), 2017, pp. 181-192.

Emilio Chiavassa

(Torino, 19 luglio 1936 – Torino, 25 gennaio 2020)



Emilio Chiavassa, per molti anni Professore di Fisica Nucleare e Subnucleare presso l'Università di Torino e Socio corrispondente dell'Accademia delle Scienze di Torino dal 2010, si è spento dopo lunga malattia il 25 gennaio 2020. La comunità scientifica, sia a livello locale sia nazionale ed internazionale, si è unita al dolore della famiglia testimoniando in maniera genuinamente commossa l'apprezzamento e la stima di cui Emilio godeva presso i colleghi; apprezzamento e stima che si radicano nell'ampiezza e nella rilevanza del suo contributo alla ricerca nell'ambito della Fisica

Nucleare e Subnucleare Sperimentale, nell'originalità del suo approccio alla didattica e nelle sue non comuni qualità umane.

L'attività di ricerca scientifica

Gli inizi

Nato a Torino nel 1936, conseguì la Laurea nel 1959 presso l'Università di Torino con una tesi in Fisica Nucleare Sperimentale, svolta in parte presso il CISE di Milano. Divenuto quindi ricercatore presso la Sezione di Torino dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), si occupò della realizzazione di un generatore di neutroni da 14 MeV. Il dispositivo fu quindi equipaggiato con uno spettrometro per la misura del tempo di volo

ed utilizzato per lo studio della diffusione elastica ed inelastica dei neutroni su bersagli nucleari.

Il CERN

Dopo questa fase iniziale di livello locale ed improntata a tematiche tipiche della Fisica Nucleare, la ricerca scientifica di Emilio iniziò ad assumere una dimensione internazionale e a orientarsi progressivamente verso le nuove tematiche della cosiddetta Fisica Adronica. Divenuto nel 1964 Professore Incaricato presso l'Università di Torino, a partire dalla fine degli anni Sessanta, assieme ad alcuni colleghi di estrazione torinese fra cui Tullio Bressani, iniziò il suo coinvolgimento negli esperimenti condotti con fasci di pioni al Sincro-Ciclotrone (SC) del CERN e finalizzati allo studio della interazione pione-nucleone. Erano questi esperimenti di complessità e di dimensioni ben maggiori rispetto alla generazione precedente, anche in virtù della più elevata energia dei fasci utilizzati, che per essere realizzati e condotti necessitavano di un maggior numero di ricercatori, tipicamente provenienti da istituti di ricerca di paesi diversi.

L'esperienza guadagnata in questi esperimenti fu usata come trampolino di lancio verso un programma di ricerca ancora più ambizioso nei primi anni Settanta: l'esperimento IPER, che mediante l'utilizzo del fascio secondario di mesoni K disponibile al Proto-Sincrotrone (PS) del CERN, si prefiggeva come scopo la produzione e lo studio degli ipernuclei, ovverosia di nuclei in cui una particella Lambda (Iperone) è stata sostituita ad un nucleone. Giova sottolineare il ruolo centrale giocato dal folto gruppo di ricercatori torinesi, che oltre ad Emilio Chiavassa annoverava fra gli altri Tullio Bressani, Gian Bonazzola, Sissi Rinaudo, Rosanna Cester, Beppe Dellacasa, Alfredo Musso e, limitatamente alla seconda parte dell'esperimento, Mauro Gallio. I risultati ottenuti furono di assoluto rilievo, comprendendo la prima osservazione degli stati ipernucleari dell'Ossigeno e dell'Alluminio.

Sull'onda del successo dell'esperimento IPER, con alcuni dei ricercatori del gruppo sopra indicato, Emilio fu tra i promotori di un nuovo e complesso apparato sperimentale all'SC del CERN, basato su uno spettrometro magnetico di grandi dimensioni, denominato Omicron, equipaggiato fra l'altro con rivelatori a gas ad alta risoluzione spaziale (camere multifilo e camere a deriva) della tipologia sviluppata al CERN dal gruppo di George Charpak, che per questo fu in seguito insignito del premio Nobel. Mediante lo spettrometro Omicron fu condotta un'ampia serie di studi sperimentali, sia con fasci di pioni che con fasci di ioni leggeri. Fra i molti risultati ottenuti, particolare importanza fu rivestita dalla diffusione a grandi angoli di pioni su bersagli nucleari e la messa in evidenza del fenomeno di fusione pionica nella produzione di pioni in collisioni di nuclei leggeri.

I primi anni Ottanta segnarono l'avvento dei fasci di antiprotoni di bassa energia e di elevata qualità resi disponibili grazie alla realizzazione del *Low Energy Antiproton Ring* (LEAR) del CERN. Cogliendo l'interesse scientifico offerto da questo nuovo campo di ricerca, Emilio ed i colleghi del gruppo torinese si impegnarono in uno studio sperimentale della reazione di scambio carica $p \rightarrow n$ articolato in due fasi. Nella prima, fu realizzato ed ottimizzato un prototipo di rivelatore per antineutroni basato sull'utilizzo dei tubi di Iarocci, mentre nella seconda fu realizzato un rivelatore su grande scala per una serie di misure su bersagli polarizzati.

La stagione parigina

Risultato vincitore nel 1981 di un concorso a cattedra (raggruppamento FIS04) presso l'Università di Torino, a partire da metà degli anni Ottanta una parte significativa dell'attività di Emilio fu condotta presso l'acceleratore *Saturne* del *Centre d'Etudes Nucleaires* di Salay, nei pressi di Parigi. Le ragioni di ciò furono molteplici. In primo luogo, l'interesse scientifico verso un settore, quello della produzione dei mesoni neutri in collisione protone-protone e protone-nucleo, che in quel periodo era di notevole rilievo nell'ambito della fisica adronica. Inoltre, vi era anche l'interesse rappresentato dalla metodologia di rivelazione di tali particelle, basata sulla innovativa tipologia di spettrometro a due bracci suggerita pochi anni prima da un gruppo di ricercatori di Los Alamos. Infine, le dimensioni del gruppo guidato da Emilio stavano aumentando con l'inserimento di alcuni giovani (il Dottorato di Ricerca fu introdotto in Italia proprio in quegli anni) consentendo una diversificazione delle attività.

Emilio seppe condurre magistralmente le discussioni con la *governance* scientifica del laboratorio, la quale accolse subito la proposta di ricerca del gruppo torinese con estremo favore. La costruzione e la messa a punto dello spettrometro, per il quale fu scelto il nome di PINOT (per varie ragioni, scientifiche e non) fu complessa, ma una volta risolti alcuni problemi tecnici, la campagna di presa dati si rivelò quanto mai proficua. In particolare, i risultati riguardanti la produzione del mesone η in collisioni p-p in prossimità della soglia misero in evidenza gli effetti dell'interazione nello stato finale, mentre i risultati ottenuti su bersaglio di deuterio evidenziarono una forte dipendenza dall'isospin. I risultati furono presentati a varie conferenze ed i due articoli principali beneficiarono di un ampio numero di citazioni – un risultato sicuramente lusinghiero per un lavoro cui parteciparono circa dieci persone, dottorandi e borsisti inclusi.

Ritorno al CERN

Sempre attento a seguire l'evoluzione delle tematiche di ricerca, verso la fine degli anni Ottanta l'attenzione di Emilio fu attratta da un nuovo e promettente filone: la fisica degli ioni pesanti ultrarelativisti e del Plasma di Quark e Gluoni (QGP).

Sebbene l'esperimento PINOT fosse ancora nel pieno della presa dati, Emilio aveva intuito che quella era la direzione verso cui volgere la prua. Suggerì allora che un paio di giovani del gruppo si iscrivessero ad una scuola (di due settimane!) interamente dedicata alla fisica degli ioni pesanti, chiedendo al loro ritorno che tenessero un seminario informale per riportare al gruppo gli aspetti principali di questo nuovo filone di ricerca. I passi successivi succedettero in rapida sequenza, secondo il paradigma del crescendo rossiniano. Nel 1990, una parte del gruppo guidato da Emilio, assieme ad alcuni altri colleghi di area torinese, si unì all'esperimento HELIOS/3, che si proponeva di studiare la produzione di coppie di leptoni con i fasci di ioni-Zolfo accelerati dal Super Proto Sincrotrone (SPS) del CERN.

Dopo questo primo approccio, si presentò rapidamente l'opportunità per una seconda e più impegnativa esperienza: il programma del CERN con i fasci di ioni-Piombo, mediante i quali si riteneva possibile raggiungere le densità di energia e le temperature necessarie per la formazione del QGP. Un'impresa indubbiamente eccitante, che subito coagulò l'interesse di un ampio numero di ricercatori torinesi che poteva contare, oltre che sull'intero gruppo diretto da Emilio, anche su quello coordinato da Ludovico Riccati e Alberta Marzari. Fra i vari esperimenti che si andavano progettando, quello che si prefiggeva di studiare la produzione della particella J/ψ in collisioni Pb-Pb suscitò il più vivo interesse nel gruppo. I calcoli teorici di Matsui e Satz indicavano infatti che la formazione del QGP doveva necessariamente comportare una soppressione del rateo di produzione di questa particella. Un breve incontro informale con alcuni dei ricercatori dei gruppi (principalmente francesi) che stavano lavorando al progetto fu organizzato al CERN, permettendo di porre le basi per l'ingresso a pieno regime nella fisica degli ioni pesanti del gruppo di Torino. L'esperimento fu presto approvato dal CERN con la sigla NA50 e vide la partecipazione di altri due gruppi italiani, quello dell'Università del Piemonte Orientale e quello dell'Università di Cagliari. Sul piano sperimentale, il contributo del gruppo torinese fu rappresentato dalla realizzazione di un rivelatore al silicio per la misura della molteplicità di particelle cariche e dalla realizzazione dello Zero-Degree Calorimeter (ZDC) finalizzato alla misura della centralità della collisione Pb-Pb.

Occorre sottolineare come lo ZDC dell'esperimento NA50, a causa della elevata intensità del fascio di ioni-Piombo, doveva essere in grado di sopportare tassi di radiazione non tollerabili dai calorimetri tradizionali. Fu dunque necessario mettere a punto una tecnica completamente nuova, la calorimetria Cherenkov a fibre di quarzo, per poter raggiungere i livelli di resistenza alle radiazioni richiesti. Il primo calorimetro realizzato con questa tecnica ed effettivamente usato in un esperimento fu proprio quello realizzato dal gruppo torinese nell'esperimento NA50.

Le campagne di presa dati dell'esperimento NA50 procedettero senza intoppi, e l'analisi dei dati medesimi mise in luce una evidente soppressione della produzione della particella J/ψ . Era una delle prime e chiare indicazioni sperimentali riguardo alla formazione del QGP in collisioni di ioni pesanti ad alte energie. Infatti, più o meno simultaneamente, anche gli altri esperimenti che utilizzavano i fasci di piombo all'SPS riportarono risultati di pari interesse riguardo ad altre osservabili, come ad esempio la produzione di particelle contenenti quarks di tipo-s.

Tali risultati fornivano un quadro coerente sulla formazione del Quark-Gluon Plasma e furono oggetto di una conferenza stampa, organizzata dal CERN, dal titolo *A new form of matter created at CERN*. Le parole introduttive di Luciano Maiani, all'epoca direttore generale del CERN, ne forniscono una eloquente sintesi:

The combined data coming from the seven experiments on CERN's Heavy Ion programme have given a clear picture of a new state of matter. This result verifies an important prediction of the present theory of fundamental forces between quarks. It is also an important step forward in the understanding of the early evolution of the universe. We now have evidence of a new state of matter where quarks and gluons are not confined. There is still an entirely new territory to be explored concerning the physical properties of quark-gluon matter. The challenge now passes to the Relativistic Heavy Ion Collider at the Brookhaven National Laboratory and later to CERN's Large Hadron Collider.

L'avvento delle grandi collaborazioni internazionali

Come si può evincere dalla seconda parte del discorso introduttivo di Maiani sopra riportato, già negli anni in cui erano in atto gli esperimenti con fasci di ioni-piombo all'SPS del CERN, si stava pensando al passo successivo. Questo era rappresentato dall'utilizzo dei collisori adronici per accelerare fasci di ioni pesanti, raggiungendo nelle collisioni energie (nel centro di massa)

di gran lunga maggiori rispetto a quelle accessibili agli esperimenti condotti sino ad allora. Ci si attendeva in tal modo di poter creare in laboratorio le condizioni ideali per la formazione e per uno studio dettagliato del QGP. In questo contesto, il costruendo *Large Hadron Collider* del CERN aveva tutte le carte in regola per giocare un ruolo di primo piano. L'opportunità venne immediatamente colta dalla comunità scientifica del settore, che, lavorando agli esperimenti con i fasci di ioni pesanti all'SPS, progettava al contempo un grande esperimento per LHC interamente dedicato alla fisica del QGP, cui fu assegnato il nome di ALICE.

Le dimensioni e la complessità di tale esperimento (in cui si volevano misurare tutte le osservabili utili alla caratterizzazione del QGP) rendevano necessaria la partecipazione di un ingente numero di collaboratori (oltre mille tra fisici ed ingegneri) provenienti da università e laboratori di tutto il mondo. In questo ampio contesto, Il gruppo torinese assunse fin dall'inizio compiti di responsabilità e coordinamento nella realizzazione di due sistemi di rivelazione (rivelatori al silicio per il tracciatore interno e calorimetri a zero gradi) cui si aggiunse qualche anno più tardi lo spettrometro per muoni.

Già a metà degli anni Novanta la comunità del settore iniziò a lavorare sulla progettazione dell'esperimento ALICE. Ed è proprio in questo frangente che l'attività di Emilio fu soggetta ad un cambio di passo. Se fino ad allora il suo principale ruolo di coordinamento era limitato al gruppo torinese di cui era a capo, con l'inizio di ALICE Emilio iniziò una stagione di coordinamento a livello più ampio, sia nazionale che internazionale. Nel 1996 fu eletto Coordinatore Nazionale dell'esperimento ed in questa veste si adoperò per promuovere un'ampia partecipazione dei gruppi italiani. Al termine del mandato (1999), fu quindi eletto presidente della Commissione Scientifica Nazionale III (Fisica Nucleare) dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, incarico che ricoprì per due mandati, fino al 2005. In parallelo (2004-2007) fu nominato *chairman* del comitato scientifico del progetto FAIR presso il laboratorio del *GSI-Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung Forschung* di Darmstadt, Germania. Emilio profuse un grande impegno nello svolgimento di tutti questi compiti ed il suo operato fu ampiamente apprezzato dalla comunità scientifica di riferimento.

L'attività didattica

Se l'attività di ricerca è sempre stato il principale interesse di Emilio, la didattica e la formazione dei giovani ricercatori ha egualmente rappresentato per lui un costante punto di attenzione. Emilio infatti era profondamente convinto che ricerca e didattica dovessero essere strettamente correlate. Basandosi su

questo approccio, non appena divenuto titolare della cattedra di Fisica dei Neutroni, nei primi anni Ottanta, inserì nel programma del corso argomenti innovativi e strettamente correlati alla ricerca in fisica nucleare e subnucleare, con particolare riferimento ai rivelatori di radiazioni ionizzanti. Questi temi, estremamente attuali, furono immediatamente apprezzati dagli studenti in Fisica: il corso tenuto da Emilio fu frequentato negli anni da centinaia di studenti, molti dei quali hanno intrapreso la carriera della ricerca ed oggi sono nostri colleghi, sia presso sedi italiane che straniere.

Come prima menzionato, Emilio è stato molto attivo anche nella formazione «post-laurea» dei giovani ricercatori, contribuendo alla promozione di diverse scuole rivolte a giovani borsisti e studenti di dottorato nell'ambito della fisica nucleare, subnucleare e astroparticellare. Tra le diverse iniziative in cui fu coinvolto, particolare importanza hanno rivestito il «Seminario Nazionale di Fisica Nucleare e Subnucleare» di Otranto e soprattutto le «Giornate di Studio sui Rivelatori», cui Emilio diede vita insieme a Franco Bonaudi. Quest'ultima scuola, tenutasi per molti anni presso la sede storica di Villa Gualino, sulla collina torinese, prosegue attualmente nella cornice montana di Cogne ed è giunta alla soglia della trentesima edizione.

Le qualità umane

La disamina dei traguardi raggiunti da Emilio nella ricerca scientifica e nella didattica non può prescindere da un breve ritratto delle sue non comuni qualità umane, che certamente hanno avuto un ruolo importante nel suo operato.

Per quanto riguarda la didattica e le sue relazioni con gli studenti, Emilio era senz'altro «il professore» ma lo era in modo estremamente informale e disponibile, capace di trasmettere alle giovani generazioni tutto il suo entusiasmo per lo studio e la ricerca. Nelle sue lezioni, era capace di stabilire un solido legame (perfettamente percepito dagli studenti) fra gli argomenti trattati a lezione e l'attività di ricerca su cui questi si basavano. Memorabile, in questo contesto, era la lettura (commentata) in aula dell'articolo originale di Chadwick a proposito della scoperta del neutrone. Numerosi erano gli studenti che, al termine del corso tenuto da Emilio, sceglievano di fare la Tesi di Laurea con il gruppo da lui diretto. Il suo approccio con i tesisti era di estremo successo, in quanto riusciva a coinvolgerli nelle attività del gruppo e a farli sentire parte integrante del medesimo.

Nell'attività scientifica condotta da Emilio, un ruolo centrale era rappresentato dal concetto di «gruppo di ricerca». Era infatti assolutamente convinto

che la fisica sperimentale fosse, per così dire, uno «sport di squadra»: per ottenere risultati occorreva che tutti fossero coinvolti, partecipi ed in grado di contribuire secondo le proprie competenze. Nell'ambito del gruppo, Emilio interpretava il suo ruolo di coordinamento in modo perfettamente fedele al concetto anglosassone del *leader by example*. Infatti, non si faceva problemi a condividere con i colleghi più giovani i compiti meno gratificanti, come ad es. i turni di notte durante le campagne di presa dati.

Emilio aveva una capacità veramente unica nello stabilire genuine relazioni con i colleghi, con il personale tecnico e con gli studenti. Il suo carattere cordiale si rifletteva, ad esempio, nella capacità di creare, a diversi livelli, momenti di incontro che andavano al di là dei semplici rapporti professionali e che facilitavano immensamente l'instaurarsi di rapporti cordiali con colleghi e studenti. In questo contesto, spesso la sua inclinazione verso le attività sportive entrava in gioco: non esitava a scendere in campo in estemporanee partitelle di calcio o basket, sovente seguite da una simpatica cena in compagnia.

Non c'è dubbio che con la scomparsa di Emilio Chiavassa si perde una figura di rilievo della fisica nucleare e subnucleare sperimentale, sia sul versante della ricerca (con particolare riferimento alla sua amplissima esperienza sui rivelatori di particelle) che su quello della didattica, ove diede contributi innovativi. Ma coloro che hanno avuto il privilegio di conoscerlo, sanno di aver perso soprattutto un docente, un collega, un amico dalle grandi qualità umane.

ERMANN0 VERCELLIN*

* Dip. di Fisica, Università degli Studi di Torino, Via Pietro Giuria 1, 10125 Torino; e-mail: vercellin@ph.unito.it.

Attilio Boriani

(Milano, 15 agosto 1936 – Milano, 12 marzo 2020)



Attilio Boriani, Lio per colleghi e amici, è scomparso improvvisamente il 12 marzo 2020. L'emergenza pandemica, esplosa proprio in quei giorni, ha impedito di organizzare qualunque cerimonia in presenza, ma la comunità scientifica ha trovato comunque il modo di ricordarlo.

Nato il 15 agosto del 1936, si era laureato in Geologia nel 1960 presso l'Università degli Studi di Milano, dove avrebbe poi svolto tutta la propria attività accademica, prima come assistente, poi come professore di Petrografia. È stato anche direttore dell'Istituto di Mineralogia, Petrografia, Geochimica e Giacimenti Minerari nel periodo 1980-82 e poi

del Dipartimento di Scienze della Terra dal 1988 al 1991, della cui costituzione fu uno dei maggiori promotori.

Il suo interesse scientifico è sempre stato focalizzato sulla ricostruzione dei processi che portano alla formazione e alla differenziazione della crosta continentale, dalla formazione di un terreno accrezionario, al metamorfismo orogenico, ai processi postorogenici di estensione, *underplating* mafico e genesi di magmi granitici. Le sue ricerche riguardano principalmente il basamento cristallino delle Alpi Meridionali, di cui è stato uno dei maggiori esperti, ma non mancano contributi allo studio dei settori Austroalpino e Pennidico, nonché di aree extracontinentali, come l'Arco magmatico indonesiano o l'Evento Panafricano in Africa Occidentale. Per la sua esperienza di rilevatore è stato anche Coordinatore per la *Carta Geologica della Regione Lombardia* (progetto CARG).

In riconoscimento dei suoi meriti scientifici è stato eletto socio dell'Accademia dei Lincei (nominato Socio corrispondente il 28 luglio 1992 e Socio

nazionale il 5 ottobre 2001) e dell'Accademia delle Scienze di Torino (nominato Socio corrispondente il 19 aprile 1989 e Socio nazionale non residente il 6 aprile 2016).

È stato Presidente della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia (1986-1987), dalla quale ha ricevuto la Medaglia Plinius nel 2005 per la sua carriera scientifica. Inoltre, come Vicepresidente dell'*European Mineralogical Union* (EMU), ha contribuito alla fondazione dell'«European Journal of Mineralogy» (1989) e fatto parte del relativo *Managing Committee*.

Il suo contributo è stato importante anche nell'ambito della gestione e della promozione della ricerca italiana e internazionale.

È stato membro e presidente di diverse Commissioni del Consiglio Nazionale delle Ricerche, inclusa la Commissione per le Relazioni Internazionali, così come del Comitato Nazionale per le Scienze geologiche. In campo internazionale ha presieduto il Comitato di coordinamento per l'*International Lithosphere Program*, è stato Vicepresidente (1992-1996) e Segretario Generale (1996-2002) dell'*International Union of Geological Sciences* (IUGS), posizione che lasciò quando divenne Presidente del 32^{mo} Congresso Geologico Internazionale di Firenze 2004. In tempi più recenti è stato *chairman* dello *Strategic Planning Committee* dell'IUGS impegnato a delinearne il futuro sviluppo. In questi ambiti nazionali ed internazionali ha avuto modo di esercitare le sue capacità diplomatiche e di mediatore, ma anche di difendere con fermezza le sue convinzioni e i suoi principi.

Il collocamento in pensione non gli aveva impedito di mantenere viva l'attenzione per la ricerca scientifica, a cui in questi ultimi dieci anni si era aggiunto l'interesse anche per i temi della «Scientific Literacy» e della divulgazione delle scienze in generale e della geologia in particolare. Da questo nasce il suo importante contributo prima alla candidatura e poi alle attività del Geoparco UNESCO Sesia – Val Grande, con l'allestimento di percorsi tematici e del Centro visite Geolab di Vogogna.

Come suoi allievi prima e colleghi poi, abbiamo avuto modo di apprezzare da vicino le sue qualità scientifiche ed umane. È stato un esempio di rigore metodologico e scientifico, come di impegno professionale nella totale dedizione al suo lavoro. Scienziato poliedrico, pur rimanendo ancorato a problematiche geologiche connesse al rilievo sul campo, era attirato dalle nuove frontiere della sperimentazione in laboratorio, *in primis* dalle ricerche sulle proprietà fisiche delle rocce a condizioni di elevata temperatura e pressione, per le quali aveva allestito un Laboratorio di Petrofisica nel Dipartimento.

Dalla sua passione giovanile per la recitazione gli era rimasta la capacità di catturare l'attenzione dell'uditorio, sia durante le lezioni sia negli interventi ai convegni scientifici. Come docente, sapeva esporre gli argomenti con

chiarezza, portando gli studenti a seguire un ragionamento logico e a collegare concetti invece di assimilare passivamente nozioni. La sua passione per l'insegnamento era tale da trasformare a volte anche l'esame di uno studente poco preparato in una nuova lezione. Qualsiasi studente in cerca di chiarimenti o spiegazioni supplementari poteva presentarsi nel suo studio senza bisogno di appuntamento, certo di essere ricevuto subito, o con una breve attesa, e di ricevere tutta l'attenzione necessaria. Pur mantenendo l'autorevolezza del docente, riusciva facilmente ad entrare in sintonia con gli studenti, specie durante le campagne sul terreno, che non di rado finivano con una serata conviviale in pizzeria o in birreria.

La sua passione e il suo impegno nella formazione di nuove generazioni di geologi si esplicavano anche a livello di corsi e seminari per dottorandi e giovani ricercatori e con l'organizzazione di scuole avanzate di livello non solo nazionale. Tra queste, diverse edizioni della Scuola di Geocronologia e Geochimica Isotopica, a partire dal 1984, che viene ricordata da molti come un volano fondamentale per lo sviluppo della loro carriera scientifica.

Serio e rigoroso quando si trattava di argomenti o situazioni che lo richiedevano, era però anche capace di battute argute, grazie al suo spiccato *sense of humor* unito ad una buona dose di autoironia. Questa dote del suo carattere lo ha sorretto nell'ultimo periodo, quando un indebolimento progressivo della vista ha incominciato a limitarlo nelle sue attività. Se n'è andato prima che questo problema potesse avere ragione del suo spirito indipendente.

Tutti coloro che lo hanno conosciuto rimpiangono in lui lo scienziato, il collega e l'amico.

VALERIA CAIRONI*
STEFANO POLI**

* Dip. Scienze della Terra A. Desio, Università degli Studi di Milano, Via Botticelli, 23, 20133 Milano; e-mail: valeria.caironi@unimi.it.

** Dip. Scienze della Terra A. Desio, Università degli Studi di Milano, Via Botticelli, 23, 20133 Milano; e-mail: stefano.poli@unimi.it.

Nicolò D'Amico

(Palermo, 28 giugno 1953 – Soleminis, 14 settembre 2020)



Nicolò (Nichi) D'Amico, astrofisico e presidente dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, Socio corrispondente dell'Accademia nella Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali, è scomparso immaturamente e improvvisamente il 14 settembre 2020 all'età di 67 anni, lasciando addolorata e attonita la comunità scientifica e quanti lo hanno conosciuto personalmente.

Fondamentali due isole nella vita di Nichi: la Sicilia, dove era nato (a Palermo il 28 giugno 1953), si era laureato e aveva iniziato la sua brillante carriera scientifica, e la

Sardegna, dove si era affermato come leader visionario e dove ricopriva l'incarico di Professore Ordinario di astrofisica presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Cagliari. In mezzo le fondamentali tappe di Sydney e di Bologna, e varie esperienze in Italia e all'estero.

I suoi primi passi nel campo dell'astrofisica furono nello studio delle sorgenti gamma con i dati della missione COS-B dell'ESA lanciata nel 1975. Si laureò con lode in fisica nel 1977 all'Università di Palermo e gli fu assegnata una borsa di studio del CNR; nel 1982 risultò vincitore per concorso di una posizione di ricercatore.

Nel 1985 Nichi ottenne una NATO *fellowship* alla Radiophysics Division dello CSIRO a Sydney in Australia e in tale visita ridisegnò i suoi interessi verso la radioastronomia. In particolare a seguito dell'installazione del ricevitore *multibeam* all'Osservatorio di Parkes divenne *senior leader* (con Andrew Lyne e Dick Manchester) dell'esperimento *Parkes Multibeam Survey* (1998-2004) di ricerca di pulsar, la più ricca collezione di oltre 800

oggetti, tra cui il sistema J0737-3039, l'unico, ad oggi, sistema binario con due pulsar. Questo risultato ottenne nel 2004 il riconoscimento come una delle 10 più significative scoperte in fisica.

Nel 1990 ebbe un incarico di ricerca presso l'Istituto di Radioastronomia di Bologna e nel 1995 si trasferì come astronomo associato da Palermo all'Osservatorio Astronomico di Bologna dove rivitalizzò le ricerche sulle pulsar alla Croce del Nord a Medicina, implementando un nuovo sistema di acquisizione dati con analisi on-line. Promosse varie collaborazioni in Europa sullo studio delle pulsar e fu tra i fondatori della rete di radiotelescopi *European Pulsar Timing Array* (EPTA) che attualmente è dedicata allo studio di segnali di onde gravitazionali nei nanohertz di frequenza, corrispondenti alla coalescenza di buchi neri supermassivi nelle prime fasi di vita dell'universo.

Nel 2001 fu nominato Professore Ordinario di astrofisica all'Università di Cagliari e dal 2002 al 2010 direttore dell'Osservatorio Astronomico di Cagliari.

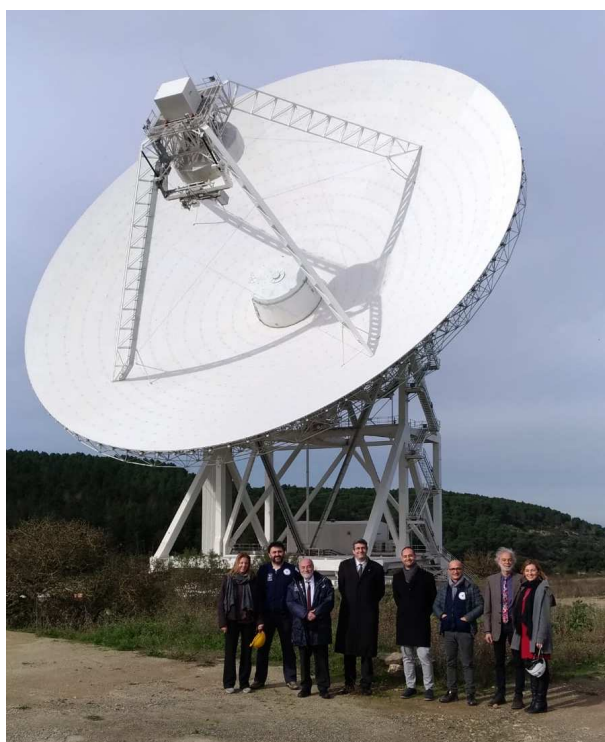


Fig. 1. Nichi D'Amico e collaboratori davanti all'antenna del *Sardinia Radio Telescope*, 2013.

Nella sua lunga e prolifica attività, il progetto che più lo impegnò e appassionò fu la realizzazione del più grande radiotelescopio italiano: SRT (Sardinia Radio Telescope), con un'antenna di 64 metri, dislocato nel sud dell'isola e inaugurato nel 2013. Ci mise anima e corpo, anche quando, per mancanza di fondi, il progetto rischiò di naufragare.

Nel 2015 fu nominato presidente dell'Istituto Nazionale di Astrofisica INAF e nel 2019, prima della scomparsa, fu confermato per un secondo mandato.

Nel corso della sua carriera D'Amico fu in grado di combinare capacità visionarie in campo scientifico con eccezionali attitudini manageriali che gli permisero di interagire con grandi risultati con le istituzioni e i poteri decisionali. Fu parte attiva nello sviluppo di progetti internazionali dell'INAF (CTA, ELT, SKA) con particolare attenzione al trasferimento delle tecnologie, alla divulgazione scientifica e alle attività educative. Come presidente dell'INAF dedicò molto impegno all'acquisizione di giovani ricercatori e allo sviluppo delle carriere dello staff scientifico e tecnologico.

D'Amico ottenne importanti riconoscimenti internazionali: la CSIRO Medal nel 1993 e il Descartes Prize nell'ambito della collaborazione europea Pulse nel 2005.

L'archivio internazionale della NASA *Astrophysics Data System* conta circa 300 *entries* a suo nome e quasi 10.000 citazioni. Di queste pubblicazioni, una decina sono in collaborazione con il Nobel 1993 J.H. Taylor, e più di una ventina sono apparse su «Nature» o «Science». L'istituto americano Thomson-ISI lo segnalò come lo scienziato più citato nel 2004 nel settore delle scienze spaziali.

Concludiamo con le parole di chi lo ha conosciuto bene, Andrea Possenti, uno dei suoi numerosi allievi e suo immediato successore come Direttore dell'Osservatorio Astronomico di Cagliari:

È un grande compito quello che ci ha lasciato: un'eredità fatta di entusiasmo, capacità di ascolto, capacità di andare alla radice dei problemi, e di considerare la primaria importanza delle persone con cui si lavora.

ATTILIO FERRARI

GIORNATE DI STUDIO

GIUSEPPE LEVI
MAESTRO DI NOBEL E SCIENZIATO

a cura di
ALBERTO PIAZZA

Premessa

È con vero piacere che – con il Prof. Andrea Grignolio e l'Accademia delle Scienze di Torino, in collaborazione con l'Accademia di Medicina – abbiamo organizzato due giornate di studio, il 6-7 maggio 2019, per ricordare il Maestro Giuseppe Levi, una figura che ha avuto grande rilievo nella nostra Università, sotto il profilo non solo scientifico, ma anche umano*.

Vorremmo ricordarlo in questa occasione in vari e molteplici aspetti: quello scientifico – con le ricerche legate al cervello (forma, sviluppo, invecchiamento) –; quello etico – nella lotta al fascismo –; quello formativo – nella scuola torinese che ha prodotto ben tre premi Nobel (Luria, Dulbecco, Montalcini) –.

Sebbene questa importante figura sia già stata ampiamente analizzata, è nostra intenzione tornare a scrutarla con qualche dettaglio meno conosciuto.

Vorrei iniziare con la lettera che Levi scrisse a un suo allievo, Oliviero Mario Olivo, il 9 maggio 1946, lettera da cui emerge con forza l'aspetto umano del professore. Ecco il testo della lettera:

ho appreso con rammarico da sua moglie che Ella è depresso di spirito e scoraggiato. Io non posso seguirla in questo suo scetticismo, mio caro Olivo, e mi riesce inconcepibile come una persona della sua intelligenza non si renda conto che tutta la vita è materiata di illusioni, create da noi e perciò artificiali. Sono queste illusioni che danno un senso alla vita. Le sembra più assurdo di correre dietro alla chimera della «scoperta» nel campo della scienza (grande e piccola che sia) di che lo sia accumulare denari come fanno gli uomini di affari e gli industriali, per lasciarli in eredità ai figli i quali li sperperano stupidamente? Mi scusi questa divagazione. Ma vorrei che Ella ritrovasse una maggiore fiducia in se stesso.

Si noti come scriva «fiducia in se stesso» prima ancora che «fiducia nella scienza». L'anno precedente, il 3 settembre 1945, Levi aveva letto una prolusione intitolata *La struttura della sostanza vivente* al corso di Anatomia umana normale nell'Università di Torino. Era una bellissima prolusione, anche se

* Per questo aspetto, trattato il 6 maggio 2019 nella II sessione del Convegno intitolata *Il Laboratorio di Levi tra antifascismo e senso civico*, si rimanda ai video disponibili nel sito dell'Accademia delle Scienze di Torino.

molti di questi problemi sono stati oggi superati o risolti in maniera diversa. Cominciava con queste parole:

ALLA MEMORIA DI LEONE GINZBURG E DI TUTTI GLI UNIVERSITARI TORINESI
PERITI PER LA CAUSA DELLA LIBERTÀ

Prima di trattare l'argomento al quale è dedicata questa mia lezione è doveroso da parte mia di rievocare i nomi dei professori e studenti della famiglia universitaria torinese, i quali in un periodo recentissimo sacrificarono la propria vita per la salvezza di ciò che vi è di più sacro per la personalità umana, per la libertà di pensiero.

Segue un indice degli argomenti, e poi Levi arriva alla parte più importante, quella inerente alla «struttura della sostanza vivente»

nella lezione di oggi mi propongo di discutere sui caratteri testé enumerati, essenziali della vita, esigono di necessità una struttura della sostanza vivente propriamente specifica; si ammette che questa struttura esista, e viene compendiata nel termine di organizzazione della sostanza vivente; ma essa è davvero specifica nel senso che non ha riscontro del mondo in organico? Ed in che consiste l'organizzazione? Ed è essa indissolubilmente connessa alle funzioni vitali?

Dobbiamo sottolineare questo legame tra struttura e funzione, perché percorrerà tutta la sua ricerca.

Infine lasciatemi chiudere con un altro ricordo che amo sempre presentare: è l'iscrizione che i figli e gli allievi hanno scolpito sulla sua tomba nel cimitero monumentale di Torino, una iscrizione che nella sua scarna semplicità riassume un altro carattere del suo «sacerdozio per la scienza», cioè l'assoluta mancanza di retorica. Ma prima leggiamo l'iscrizione vicina, dedicata della moglie:

LIDIA LEVI TANZI / Visse serenamente confortata dal vivo affetto del compagno della sua vita, dei figli, dei nipoti, dalla simpatia degli amici

Più in basso segue l'iscrizione che riguarda Giuseppe Levi:

GIUSEPPE LEVI / Biologo, maestro di vita e di pensiero, lo ricordano i figli e nipoti, gli allievi

La memoria non si nutre solo del ricordo dei tre premi Nobel che si riconoscono nel loro Maestro, ma anche del ricordo di un Maestro ben consapevole del valore degli affetti.

ALBERTO PIAZZA

Giuseppe Levi e l'Accademia di Medicina di Torino

di GIANCARLO ISAIA*

Ringrazio il Presidente Prof. Alberto Piazza per il cortese e gradito invito a partecipare a questo evento che si colloca nella direzione da qualche tempo individuata dall'Accademia di Medicina di Torino e caratterizzata dall'esigenza di collocare la nostra istituzione in un contesto più ampio, dando vita ad una sorta di «osmosi della scienza» tra le tre storiche Accademie torinesi (delle Scienze, di Medicina e di Agricoltura) intensificandone i rapporti, nella consapevolezza di ottenere in tal modo un arricchimento culturale reciproco.

Rievocare l'opera e la figura di una persona di altissimo livello, quale fu Giuseppe Levi, è un'occasione propizia per avvicinare e sensibilizzare le persone comuni al mondo della scienza. Ho molto apprezzato l'articolo apparso oggi su «La Stampa» dedicato a questo evento, che considero un segnale di una sensibilizzazione mediatica crescente, coerente con l'esigenza di valorizzare e far conoscere la storia delle nostre istituzioni culturali e dei più illustri personaggi che le hanno frequentate: ciò significa investire sul futuro, perché la conoscenza degli eventi e delle figure di rilievo del passato non può che preludere ad un futuro migliore. Di Giuseppe Levi, che non ho ovviamente conosciuto di persona, ho però un vivo ricordo personale, perché mio padre, medico condotto che era stato un suo allievo, forse uno degli ultimi studenti a sostenere con lui l'esame di Anatomia Umana normale nella seconda metà degli anni trenta, lo ricordava come un docente severo e molto esigente dal quale mi diceva avere imparato moltissimo; ricordo che me ne parlò nel contesto di un discorso sulle Leggi razziali, stimolato da una mia domanda specifica e in quell'occasione venni a sapere che una dozzina di docenti Universitari vennero repentinamente estromessi dalla Facoltà di Medicina e dalla vita civile del Paese a seguito di provvedimenti di cui la gran parte della popolazione non comprendeva il razionale ed il fine e che, mi riferì mio padre, contribuirono ad innescare un processo di critica verso il regime che poi sarebbe sfociata alcuni anni dopo nella resistenza e nella liberazione.

* Presidente dell'Accademia di Medicina di Torino; e-mail: giancarlo.isaia@unito.it.

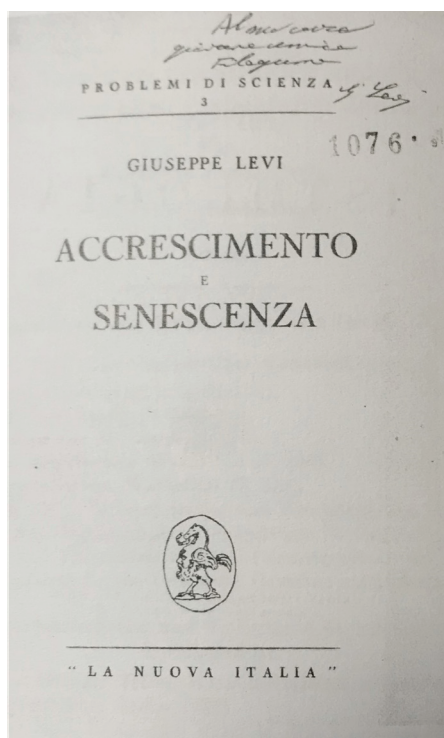


Fig. 1. Rara copia autografa di *Accrescimento e senescenza*, omaggiata dall'Autore all'amico Guido Filogamo, conservata presso la Biblioteca Federata di Medicina «Ferdinando Rossi», Polo Scienze Biologiche, Università degli Studi di Torino.

Giuseppe Levi venne eletto Socio dell'Accademia di Medicina nel 1921 frequentandola con assiduità ed incentivando i suoi collaboratori, tra questi il Prof. Terni e il Prof. Dulbecco, a tenervi conferenze, ma le sue presentazioni in prima persona furono piuttosto rare ed in particolare, in oltre quarant'anni, si contano soltanto quattro suoi interventi: il primo, nel 1921, titolato *L'accrescimento dei somiti mesodermici e di altre individualità morfologiche*. Il secondo, nel 1922, dal titolo *Osservazioni della struttura della cellula vivente epatica coltivata in vitro*; il terzo una decina di anni dopo, nel 1932, quando dissertò sul tema *Accrescimento e senescenza*: di questo intervento purtroppo non è rimasto che un breve riassunto pubblicato negli «Atti dell'Accademia di Medicina», ma le sue teorie sulla senescenza cellulare che Levi aveva maturato fin dal 1919, sono diffusamente descritte in una monografia

riassuntiva dei suoi studi sull'invecchiamento, edita negli anni successivi ed anch'essa intitolata *Accrescimento e Senescenza* di cui, grazie alla diligenza del Prof. Alessandro Bargoni è stata ritrovata una rara copia autografa omaggiata dall'Autore al «caro giovane amico Filogamo» (fig. 1). Già un secolo fa, dunque, Levi aveva gettato le basi di un discorso sull'invecchiamento che ancora oggi è assolutamente attuale nel senso che con il passare del tempo si sviluppano, seppur molto lentamente, nei diversi organi ed apparati modificazioni morfologiche che possono essere evidenziate soltanto ricorrendo ad opportuni approcci tecnologici. Strettamente connesso a questo filone di ricerca è il tema del quarto e ultimo appuntamento di Levi nell'aula dell'Accademia di Medicina, che si tenne nel 1937 con una tipologia di comunicazione scientifica del tutto innovativa per quel tempo: vennero presentati quattro filmati di micro-cinematografia, arte che allora era agli albori, considerando che nelle sale cinematografiche si proiettava ancora il cinema muto, ma che si dimostrò fin da subito un utilissimo mezzo per ricostruire in modo dinamico i fenomeni biologici. Infatti, considerando che con la semplice osservazione microscopica si riusciva con difficoltà a ricomporre morfologicamente i fenomeni dell'accrescimento cellulare a causa della loro estrema lentezza, con la nuova tecnica e con fotogrammi scattati a intervalli molto lunghi fu possibile invece, nella fase di produzione del film, ottenere un effetto visivo dei movimenti più rapido e facilmente comprensibile. In particolare, vorrei ricordare la proiezione riguardante i fotogrammi prodotti da Levi nell'ambito degli studi di anatomia per illustrare l'accrescimento delle cellule nervose in cultura secondo la tecnica della goccia pendente, ottenuta dai gangli spinali del pollo al nono giorno di vita, e quello della fibra nervosa di un ganglio spinale di feto umano. In entrambi i casi fu possibile osservare le fibre nervose crescere nella goccia coagulata nel plasma. Si deve alla diligenza del Prof. Dario Cantino il ritrovamento di questo filmato, che, accuratamente restaurato ad opera dell'Accademia di Medicina nel 2001, venne proiettato ai Soci in una sala cinematografica messi a disposizione per l'occasione.

Nel 1938 vennero proclamate le famigerate leggi razziali che costrinsero l'ufficio di Presidenza dell'Accademia di Medicina ad assumere gli ingiusti provvedimenti di espulsione non solo di Levi, ma anche di altri undici illustri accademici. Il verbale di quella seduta, presieduta dal Prof. Luigi Bobbio, allora Presidente dell'Accademia, riporta come vennero comunicate ai Soci le disposizioni del governo, preludio ad un futuro sinistro e tragico per il nostro Paese, con un tono insieme imbarazzato ed accorato. In occasione dell'ottantesimo anniversario dalla promulgazione delle Leggi razziali, nel novembre 2018, ritenemmo necessario e doveroso ricordare tale episodio nell'ambito

della relazione del Presidente all'inaugurazione dell'Anno Accademico 2018/2019 dell'Accademia di Medicina, provvedendo nel contempo alla virtuale riammissione postuma dei Soci ingiustamente espulsi. In tal modo, con il consenso e l'apprezzamento di tutti i Soci presenti, l'Accademia di Medicina ha voluto rendere omaggio alla memoria di un grande scienziato come Giuseppe Levi, ed insieme stigmatizzare un provvedimento iniquo e scandaloso.

Le scoperte di Giuseppe Levi a Torino

ALESSANDRO VERCELLI*

Giuseppe Levi è una delle figure di anatomista e biologo più eminenti del secolo scorso, la cui fama ha superato i confini nazionali, e che ha saputo creare una scuola accademica conosciuta in tutto il mondo per i suoi elevati risultati scientifici.

Nel 1919 Giuseppe Levi viene nominato professore di Anatomia nell'Università di Torino, nella cattedra che fu di Carlo Giacomini e di Romeo Fusari. L'anatomia torinese ha già avuto figure di grande rilievo, *in primis* Luigi Rolando, famoso per i suoi studi sul sistema nervoso centrale e ricordato dai più per la descrizione della scissura che porta il suo nome, che separa la corteccia cerebrale parietale (area somatosensitiva) da quella frontale (area motoria) e per la «sostanza gelatinosa di Rolando» del midollo spinale, a cui arrivano le informazioni sensitive dolorifiche dalla periferia. In particolare l'anatomia torinese ha sempre avuto una particolare attenzione verso lo studio del sistema nervoso. L'Istituto di Anatomia, sito ancor oggi nel «Palazzo degli studi anatomici», è stato inaugurato nel 1897, insieme agli altri Istituti di corso Massimo D'Azeglio, come parte della Cittadella della Scienza costruita per l'Esposizione Universale di Torino. Si tratta di un edificio moderno per il tempo, progettato secondo i canoni degli Istituti scientifici del resto d'Europa. Al suo interno, il Museo di Anatomia (dedicato a Luigi Rolando) è costruito come una cattedrale del positivismo a tre navate con la croce finale, tanto che nelle lunette, invece dei Santi, campeggiano affreschi che riguardano gli scienziati del tempo e scritti del darwinismo.

1. Prima di arrivare a Torino

Giuseppe Levi, di famiglia di banchieri ebrei, nasce a Trieste il 14 ottobre del 1872. Lì frequenta il liceo e riceve una formazione culturale di tipo prettamente mitteleuropeo, sviluppa una inclinazione per gli studi di tipo

* Dip. di Neuroscienze, Istituto di Neuroscienze della Fondazione Cavalieri Ottolenghi, Università di Torino; e-mail: alessandro.vercelli@unito.it.

scientifico-naturalistico, e la passione per l'alpinismo. Quando il padre muore nel 1886, tutta la famiglia si trasferisce a Firenze, e Levi si iscrive a Medicina, dove frequenta l'Istituto di Patologia (diretto da Alessandro Lustig, anatomista e patologo generale, anche lui triestino e con un passato all'Università di Torino) e la Clinica Psichiatrica San Salvi, dove lavorano Eugenio Tanzi (anche lui triestino, e con un breve passato a Torino) e Ernesto Lugaro (allievo di Tanzi, palermitano). Si laurea nel 1895 e nel 1897 diventa assistente alla Clinica di Malattie Nervose e Mentali.

Levi però non è attratto dalle attività cliniche, e dopo un periodo a Berlino da Oscar Hertwig, zoologo interessato allo sviluppo e in particolare al nucleo cellulare, ritorna a Firenze nel 1899 come aiuto all'Istituto di Anatomia diretto da Giulio Chiarugi, dove consegue la libera docenza in Anatomia Umana Normale nel 1903.

Nel 1902, a testimoniare i suoi interessi di biologo sperimentale, frequenta la Stazione Zoologica Anton Dohrn a Napoli. Diventa quindi professore di Anatomia all'Università di Sassari nel 1910 per poi trasferirsi all'Università di Palermo nel 1914. Nel periodo palermitano, dirigendo l'Istituto voluto e creato da Francesco Randacio e allora sito sui bastioni di Porta Carini, presso l'Ospedale della Concezione, utilizza le colture cellulari, mutuando da Ross Harrison le colture in goccia pendente (1910)¹, implementate da Alexis Carrell (premio Nobel per la Fisiologia e Medicina nel 1912), tecnica di cui trarrà il massimo vantaggio nel periodo torinese. A Palermo ha come principali collaboratori Alberto Monroy (uno dei pionieri in Italia della biologia molecolare) ed Emerico Luna (uno dei fondatori della Società Italiana di Anatomia). Sarà a quest'ultimo che, dopo averlo sostituito durante il periodo bellico quando va volontario in Cadore come medico militare, lascerà la direzione dell'Istituto nel 1919 a seguito del suo definitivo trasferimento a Torino.

2. Torino tra le due guerre

La Torino in cui Giuseppe Levi si trasferisce è una città piena di fermento, nonostante abbia perso il ruolo di capitale del Regno.

L'ambiente torinese tra le due guerre, cioè nel ventennio fascista, si presenta caratterizzato da un fondamentale antifascismo da parte degli intellettuali, che non condividono l'ideologia e le azioni del regime, anche se, come messo in evidenza da alcuni storici, non sono del tutto esenti da compromessi per poter continuare le proprie attività professionali.

¹ R.G. Harrison, *The outgrowth of the nerve fiber as a mode of protoplasmic movement*, in «Journal Experimental Zoology», 9, 1910, pp. 787-846.

In quel periodo la città si sta espandendo, grazie alla nascita dell'industria. Negli anni tra le due guerre mondiali, e in particolare tra i tardi anni Venti e gli anni Trenta, la città vede la costruzione di alcuni nuovi edifici in stile «littorio», come la via Roma nuova. L'architettura della città vede sorgere nuova edilizia collettiva residenziale e industriale, come i centri riornali fascisti, il nuovo complesso sportivo attorno allo stadio Mussolini (oggi Stadio Olimpico Grande Torino), il Lingotto (dal 1915), la Snia Viscosa (1925) e lo stabilimento della Fiat a Mirafiori (1939). Tra gli architetti di questo periodo ricordiamo Levi-Montalcini. In un contesto che vede una progressiva seppur difficile «fascistizzazione», memorabile è il silenzio della folla che accoglie Mussolini a Mirafiori durante la visita ufficiale del 1939. In una città in forte espansione demografica e produttiva, segnata dalla presenza di intellettuali, artisti, architetti e committenti anche portatori di istanze antifasciste (Pagano, Castrati, Gramsci, Gobetti, Gualino ecc.), sia il centro sia le periferie sono segnate da interventi di grande significato architettonico e urbanistico.

3. La Facoltà di Medicina tra le due guerre

La Facoltà di Medicina dell'Università di Torino in quel periodo è prestigiosa e attrattiva, sia per i docenti sia per i discenti. A titolo di esempio, nel 1931 la Facoltà di Medicina consta di 17 ordinari e 103 liberi docenti, e di 618 studenti di cui 24 donne. Il primo anno di corso iscrive 132 studenti di cui 6 donne. In quel periodo il sistema universitario italiano è estremamente attrattivo per gli stranieri, e la laurea in medicina italiana viene riconosciuta nei territori con mandato internazionale in Palestina. La Facoltà di Medicina ha 60 studenti stranieri. Tra i suoi docenti troviamo: Mario Carrara, genero di Cesare Lombroso e professore di Antropologia Criminale: di lui si ricorda il rifiuto del giuramento di fedeltà al regime; Mario Donati, considerato uno dei maggiori chirurghi italiani tra le due guerre, ebreo e come tale rimosso dalla cattedra per le leggi razziali nel 1938; Amedeo Herlitzka, fisiologo; il già ricordato Ernesto Lugaro, psichiatra, successore di Cesare Lombroso; Benedetto Morpurgo, patologo, anche lui costretto a lasciare la cattedra per le leggi razziali.

4. Direttore dell'Istituto di Anatomia

Nell'Università di Torino Giuseppe Levi vive la maturità scientifica e accademica. In primo luogo, ben presto rappresenta un punto di riferimento culturale e scientifico. Poco amante della clinica e dell'anatomia descrittiva,

Levi è fautore della anatomia funzionale. I suoi temi di ricerca sono argomenti che vanno per la maggiore nella biologia del suo tempo. Testimonianza della sua visione molto moderna della materia è il testo di Istologia da lui scritto, che ha grande successo e che purtroppo non è mai stato tradotto in lingua inglese. Una caratteristica della sua attività di ricerca è l'attenzione per i progressi tecnici, come le colture cellulari e la microcinematografia. Tipica poi del suo modo di fare ricerca è l'esigenza quasi ossessiva di «contare e misurare», a testimonianza del suo rigore scientifico.

Con lui l'Istituto di Anatomia di Torino assume una dimensione internazionale: intrattiene rapporti scientifico-epistolari con Santiago Ramón y Cajal, Fernando De Castro e tanti altri scienziati del tempo. Ottiene fondi dalla Fondazione Rockefeller negli USA.

5. Il periodo delle leggi razziali, della II Guerra Mondiale e la reintegrazione all'Università di Torino

Giuseppe Levi, per quanto non attivo politicamente, è di convinzioni socialiste. Nel 1925, firma il manifesto degli intellettuali antifascisti di Benedetto Croce, pubblicato in prima istanza il giorno della Festa dei Lavoratori, detto anche l'antimanifesto in risposta al manifesto degli intellettuali fascisti di Giovanni Gentile.

Con una certa riluttanza, anche in seguito alle pressioni dei suoi allievi, nel 1931 Giuseppe Levi firma il giuramento² di fedeltà al fascismo, atto formale di adesione al regime richiesto ai docenti delle università italiane, pena l'esclusione dalla cattedra senza diritto a liquidazione né pensione. Di 1251 docenti al tempo presenti nelle università italiane, solo 15 rifiutano di firmarlo: tra loro Mario Carrara e Francesco Ruffini (diritto ecclesiastico) all'Università di Torino.

L'11 marzo 1934 il figlio Mario viene fermato con altri amici alla dogana di Lugano con manifesti e opuscoli antifascisti in previsione del plebiscito del 25 marzo. Riesce a fuggire in modo rocambolesco, ma a seguito dell'episodio Giuseppe Levi, il figlio Gino e altre persone vengono arrestate. Dopo poco più di due settimane Levi viene scarcerato, ma viene emarginato dai colleghi in seno alla Facoltà.

² *Giuro di essere fedele al Re, ai suoi Reali successori e al Regime Fascista, di osservare lealmente lo Statuto e le altre leggi dello Stato, di esercitare l'ufficio di insegnante e adempiere tutti i doveri accademici col proposito di formare cittadini operosi, probi e devoti alla Patria e al Regime Fascista. Giuro che non appartengo né apparterrò ad associazioni o partiti, la cui attività non si concilia coi doveri del mio ufficio.*

Con la promulgazione del Regio decreto legge n. 1728 del 17 novembre 1938, che contiene i *Provvedimenti per la difesa della razza italiana*, agli ebrei viene vietato, tra l'altro, di far parte delle amministrazioni militari e civili, di enti, istituti e aziende provinciali e comunali, di enti parastatali. Ne consegue l'esclusione tanto degli studenti che degli insegnanti da ogni istituzione scolastica o scientifica, fossero scuole, università, accademie o istituti scientifici di vario tipo. Pertanto Giuseppe Levi viene privato della cattedra e radiato dalle società accademiche italiane di appartenenza³. Mentre la società scientifica internazionale cerca di trovargli una posizione all'estero, egli ripara in Belgio e prosegue per due anni, dal 1939 al 1941, l'attività di ricerca presso l'Università di Liegi. Viene raggiunto dalla sua allieva Rita Levi Montalcini (si veda oltre), che, anche lei espulsa dall'università italiana, va a lavorare all'Università di Bruxelles. Con l'arrivo dell'esercito tedesco passa in clandestinità e soltanto nel 1941 riesce a tornare a Torino.

Qui continua a collaborare con Levi Montalcini, anche lei tornata in Italia, che ha organizzato un piccolo laboratorio nella camera da letto della sua abitazione. Con i bombardamenti Levi Montalcini si trasferisce nell'astigiano, mentre Levi, la moglie e il figlio Gino si trasferiscono a Ivrea. Dopo l'armistizio la moglie resta a Firenze, mentre lui rimane ospite di amici a Ivrea, per poi trasferirsi anche lui nel 1944 a Firenze. Nello stesso periodo si trova a Firenze anche Levi Montalcini, con la sorella e la madre, e insieme cominciano a scrivere il trattato di Istologia.

Nel 1945, dopo la liberazione dal fascismo, venne reintegrato nell'insegnamento e nelle società accademiche di appartenenza. Viene nominato dal Governo militare alleato presidente della Commissione universitaria interna per l'epurazione dei docenti compromessi con il fascismo e partecipa anche alla Commissione di epurazione dell'Accademia dei Lincei.

Nel 1947, quando lascia la cattedra per raggiunti limiti di età, il Consiglio Nazionale delle Ricerche gli affida la direzione del «Centro di Studio sull'accrescimento e sulla senescenza degli organismi».

Nel corso della sua vita, riceve tantissimi onori. Diventa socio dell'Accademia dei Lincei e dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, oltre che di altre Istituzioni scientifiche estere quali la National Academy of Sciences of the USA, la Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique e la Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina. Riceve importanti riconoscimenti, tra i quali il Premio Reale dell'Accademia dei Lincei nel 1923, la Medaglia d'oro dei benemeriti della scuola, della cultura e dell'arte e le lauree *honoris causa* delle Università di Liegi, di Montevideo e di Santiago del Cile.

³ Cfr. anche il capitolo di Giancarlo Isaia nel presente volume.

6. La sua «Scuola»

Torniamo ora alla sua vita scientifica e di maestro, e al suo ruolo di mentore per tanti giovani.

Gli studenti frequentano in massa le sue lezioni, nonostante tutti le riferiscano come noiose, e vogliono entrare nel suo laboratorio per la sua fama di scienziato e di indipendenza culturale, anche dal punto di vista politico, sebbene non spinta all'estremo per non irritare il regime del tempo. È un docente severo, burbero, con scatti d'ira quando gli studenti scherzano e rumoreggiano durante le lezioni.

All'Istituto di Anatomia Giuseppe Levi, come dice egli stesso, ogni anno accetta 20-25 studenti del II anno come allievi interni, a cui viene dato libero accesso ai laboratori; dopo un periodo di apprendistato sulle tecniche istologiche del tempo, essi continuano fino al conseguimento della laurea, ricevendo un tema di ricerca da sviluppare in autonomia che diventa il loro tema di laurea. Il primo periodo, come dice la stessa Levi Montalcini nella sua autobiografia, è una specie di test di resistenza, con un lavoro molto tedioso. Comprende spesso conta e misurazione di cellule, che mettono alla prova l'allievo.

Questa combinazione di costanza nel perseguire gli obiettivi unita ad una fondamentale indipendenza nel condurre le proprie ricerche selezionano un nutrito gruppo di giovani che, oltre a popolare la scuola medica torinese, si disseminano in Italia e nel mondo con notevoli successi scientifici e accademici, dando origine alla cosiddetta «Scuola di Levi».

I tre allievi più famosi sono i tre premi Nobel Salvatore Edoardo Luria, Renato Dulbecco e Rita Levi Montalcini. Di loro si può dir tutto meno che siano anatomici tradizionali. Luria e Dulbecco sono affascinati dalla fisica, tanto che il primo frequenta la scuola di Fermi a Roma e il secondo si iscrive alla Facoltà di Fisica a Torino. Il primo ad emigrare negli USA è Luria, poi, da lui aiutati, lo seguono Dulbecco e Levi Montalcini: i tre rimarranno in stretto contatto per tutta la vita. Mentre i primi due frequentano l'Istituto ma poi si dedicano ad altri campi scientifici, Rita Levi Montalcini è quella che maggiormente si occupa di temi di ricerca vicini a quelli di Levi. In particolare si occupa della dipendenza dei motoneuroni che innervano i muscoli scheletrici dal territorio di innervazione, gettando le basi per quelle che in futuro saranno le sue scoperte sui fattori di crescita del sistema nervoso. Insieme studiano la relazione tra i gangli spinali e i loro bersagli di innervazione, mediante l'ablazione precoce dell'abbozzo dell'arto⁴. Il rapporto maestro/allieva tra

⁴ R. Levi-Montalcini, G. Levi, *Les conséquences de la destruction d'un territoire d'innerva-*

Levi e Levi Montalcini è molto stretto, uscendo rinsaldato dalle difficoltà del periodo bellico. Insieme scoprono i lavori di Viktor Hamburger sugli effetti dell'asportazione dell'abbozzo dell'arto, pubblicando al riguardo alcuni articoli fondamentali nel periodo bellico. Levi Montalcini subito dopo la guerra si trasferisce alla Washington University a Saint Louis, USA.

Hertha Meyer, giovane biologa tedesca che ha collaborato con Alexis Carrell, si trasferisce a Torino dopo l'avvento di Hitler. Si trasferisce poi a Rio de Janeiro, dove accoglie più avanti Rita Levi Montalcini per alcuni esperimenti relativi al *Nerve Growth Factor*.

Intanto gli allievi italiani di Levi si disseminano in Italia: Rodolfo Amprino a Bari, Luigi Bucciante a Padova, Angelo Bairati a Milano, Oliviero Olivo a Bologna. Discorso a parte merita Tullio Terni, uno dei suoi giovani più promettenti che lo segue da Firenze prima a Sassari, poi a Palermo e infine a Torino. Con Levi intraprende gli studi di neuroplasticità che lo porteranno allo studio della rigenerazione della coda della lucertola⁵. Diventa poi professore a Padova. Intanto aderisce al fascismo ma, nonostante ciò, in seguito alle leggi razziali viene allontanato dall'Università e dalle Accademie di cui era socio. Nel 1946 lo stesso Levi partecipa alla commissione che lo estromette nuovamente dall'Accademia dei Lincei per via della sua adesione al fascismo; Terni si suicida dopo pochi giorni in preda a crisi depressiva.

Sempre nel suo laboratorio transitano altri allievi che frequentano altri istituti, tra cui Giovanni Godina, veterinario. Fernando De Castro, allievo di Cajal, visita il suo laboratorio considerandolo uno dei maggiori biologi europei⁶.

Possiamo considerare il laboratorio di Giuseppe Levi come un *melting pot* dove si incontrano scienziati giovani e meno giovani, che godono del respiro internazionale, delle nuove tecniche utilizzate e dell'ambiente scientificamente stimolante. Da questo piccolo laboratorio, nelle generazioni che si susseguono, scienziati curiosi, interdisciplinari, indipendenti e intraprendenti vanno in Italia e nel mondo a disseminare un metodo di ricerca, *alumni* dell'anatomia torinese. Una curiosità, riferita dai suoi allievi, è come Levi sia stato un mentore disinteressato, quando anche rigido e severo. I suoi

tion périphérique sur le développement des centres nerveux correspondants dans l'embryon de poulet, in «Archivio Italiano di Biologia», 53, 1942, pp. 537-545.

⁵ T. Terni, *Sulla correlazione fra ampiezza del territorio di innervazione e volume delle cellule gangliari. 1°*. Ricerche sui gangli spinali nei *Chelonii*, in «Anatomischer Anzeiger», 47, 1914, pp. 369-386.

⁶ F. De Castro, *Commemorazione di Santiago Ramón y Cajal*, in «Atti del Primo Congresso Internazionale di Istopatologia del Sistema Nervoso», Perugia 1952, pp. 3-19.

allievi ricordano le feroci critiche ai loro lavori, e la stessa Levi Montalcini la sua avversione alle sue conclusioni scientifiche sul *Nerve Growth Factor*. Nel mentre, concordano sul fatto che si rifiutava di essere coautore di articoli a cui non aveva partecipato significativamente, in questo anticipando molti recenti regolamenti, spesso disattesi, delle buone pratiche delle nostre università.

7. L'ambiente familiare

Giuseppe Levi sposa nel 1901 Lidia Tanzi, conosciuta nelle aule di medicina a Firenze, figlia di Carlo Tanzi, avvocato amico dei socialisti Filippo Turati e Anna Kuliscioff. Da lei ha cinque figli. È soprattutto per le frequentazioni della moglie e dei figli che la casa di Giuseppe Levi rappresenta un polo di attrazione per intellettuali antifascisti. Conosce Filippo Turati, Carlo Rosselli, Ferruccio Parri e Adriano Olivetti (che sposerà una delle sue figlie). Ciononostante Levi non rappresenta un pericolo per il regime, non perché mostri una volontà di cedere al fascismo, ma perché tutto devoto alla scienza e all'accademia. La stessa Natalia, sua figlia (che sposa Leone Ginzburg), nel descriverlo nel suo famoso libro *Lessico Familiare*, riferisce di come in casa soltanto le discussioni accademiche stimolassero il suo interesse, e parlasse sempre di «ciò che accade in Facoltà»... La sua devozione alla scienza e al suo lavoro sono testimoniate dal fatto che in tutto il periodo bellico, nonostante le ovvie difficoltà pratiche e i pericoli delle persecuzioni fasciste, il suo interesse era tutto incentrato sulla neurobiologia.

8. I temi di ricerca

Giuseppe Levi non ha fatto scoperte rivoluzionarie, fondamentali nel campo della biologia. I suoi interessi scientifici sono molto ampi, dal sistema nervoso alle vie urinarie, ed è stato uno dei fondatori dell'Istologia come materia a sé stante dall'Anatomia. Il suo approccio alla ricerca è stato però profondamente innovativo e come tale ha gettato il seme per una scuola di pensiero scientifico dai mille rivoli⁷.

I suoi primi studi riguardano la relazione tra la grandezza del nucleo nelle cellule nervose e le dimensioni dell'animale, citati da Robertson come

⁷ M. Bentivoglio, A. Vercelli, G. Filogamo, *Giuseppe Levi: mentor of three Nobel laureates*, in «Journal of the History of Neurosciences», 15, 2006, pp. 358-368.

seminali⁸. Nello stesso periodo descrive per la prima volta le neurofibrille, per questo citato da Cajal⁹. Sempre negli anni fiorentini, studiando gli effetti delle lesioni corticali nel criceto adulto, Levi riferisce di aver osservato delle mitosi, lasciando intendere che potrebbe trattarsi di neurogenesi.

Successivamente, studiando i gangli della radice dorsale, giunge alla conclusione che i neuroni reagiscono agli stimoli trofici con una ipertrofia. Inoltre, sviluppa il concetto che, nelle specie, nelle cellule perenni¹⁰ le dimensioni del nucleo sono direttamente proporzionali alle dimensioni del corpo dell'animale: questo concetto viene tramandato come «legge di Levi», una eccezione alla legge di Driesch sulla costanza del volume cellulare, secondo cui la dimensione del corpo non dipende dalle dimensioni ma dal numero delle sue cellule.

Utilizzando le colture in vitro, osserva la dipendenza della crescita delle cellule coltivate dallo stadio di sviluppo dell'embrione da cui sono state prelevate e dalla composizione del terreno di coltura¹¹, sia esso plasma o estratto di embrione diluito. Sempre studiando le cellule nervose in vitro, tagliandone l'assone, studia la rigenerazione nervosa¹². Anche grazie a questi studi diventa membro del comitato editoriale della rivista tedesca «Archiv für experimentelle Zellforschung und Gewebezüchtung».

Nell'ultimo periodo del suo lavoro scientifico, come testimoniato dal suo incarico al CNR, Levi si interessa della senescenza intesa come un fenomeno della vita fisiologica delle cellule e dei tessuti, da mantenere separato dagli aspetti patologici, concetto oramai acquisito ma sicuramente originale al suo tempo¹³.

Già nel 1910, Levi mette in luce la stretta correlazione tra forma e funzione¹⁴. Tale concetto è al centro del suo testamento scientifico, pronunciato nel

⁸ W.F. Robertson, *Normal and pathological histology of the nerve cell*, in «Brain», 22, 1899, pp. 203-227.

⁹ S. Ramón y Cajal, *Neuronismo o reticularismo?*, CSIC, Madrid 1952.

¹⁰ Il concetto di cellule perenni deriva dalla definizione dei tessuti come labili, stabili e duraturi introdotta da Giulio Bizzozzero (G. Bizzozzero, *Accrescimento e rigenerazione nell'organismo*, in «Archivio di Scienze Mediche», 18, 1894, pp. 1101-1137).

¹¹ G. Levi, *Explantation, besonders die Struktur und die biologischen Eigenschaften der in vitro gezüchtete Zellen und Gewebe*, in «Ergebnisse der Anatomie und Entwicklungsgeschichte», 31, 1934, pp. 125-707.

¹² Id., *Phénomènes réactifs et régénératifs dans les neurones cultivés in vitro à la suite de lésions par le micromanipulateur*, in «Comptes Rendu de la Société de Biologie», 131, 1939, pp. 821-823.

¹³ Id., *Accrescimento e senescenza*, La Nuova Italia, Firenze 1946.

¹⁴ Id., *Di alcuni rapporti tra struttura e funzione negli animali*, in «Atti della Società Italiana per il progresso delle Scienze», Roma 1910.

corso della prolusione all'apertura dell'anno accademico 1945, il 3 settembre¹⁵. In questo discorso ricorda la sua precedente prolusione, tenuta quando 26 anni prima era stato insignito della cattedra di Anatomia Umana Normale a Torino. Già allora aveva messo in rilievo come lo studio della morfologia, che caratterizza l'Anatomia Umana e l'Istologia, non può prescindere dalla conoscenza e dallo studio della funzione. Mette in evidenza come l'Anatomia microscopica sia intrinsecamente legata alla Fisiologia, mentre l'Anatomia macroscopica sia introduzione indispensabile allo studio della Medicina «purché sfrondata di descrizioni eccessivamente minuziose, le quali, essendo destituite di interesse scientifico e pratico, rappresentano adunque un vuoto dilettantismo». Ne consegue che «è soltanto nell'analisi dei tessuti e delle cellule che si mantiene un punto di contatto tra Anatomia e Fisiologia» per cui Levi conia il termine di 'Istofisiologia' in un'epoca nella quale la Biochimica era ai suoi albori.

Nella sua attività di ricerca e nei suoi scritti è presente una grande attenzione alle novità tecniche del tempo, quali le colture cellulari e la manipolazione in vitro (per esempio il taglio dell'assone nei neuroni in cultura), l'attenzione per l'analisi quantitativa e la microcinematografia, fino a citare, nell'ultima edizione del suo trattato di Istologia il microscopio elettronico e le tecniche istochimiche.

Un tema interessante è la sua posizione nella diatriba di inizio '900 rispetto alla teoria del neurone: reticularista o neuronista? Seguace della dottrina di Golgi o di Cajal? Inizialmente, dai suoi scritti sembra trasparire una certa riluttanza ad abbandonare il concetto di rete diffusa propugnata da Golgi, e nelle prime edizioni del suo trattato di Istologia dedica lunghe pagine al dibattito tra le due dottrine. Nella terza edizione del 1946 però egli ammette che l'esistenza delle sinapsi non può essere negata, e Cajal lo mette tra i cosiddetti «neuronisti convertiti»¹⁶.

Conclusioni

Per i decenni a seguire, l'Istituto di Anatomia resta un punto di riferimento e di passaggio per la scuola medica torinese, nella convinzione che qualsiasi ricercatore o clinico che si rispetti deve aver frequentato l'Istituto per imparare «un metodo». Dopo un periodo in cui l'Istituto viene retto da Francesco Loreti, della scuola pavese (dal 1949), nel 1966 diventa professore di Anatomia Guido Filogamo, l'ultimo degli allievi di Giuseppe Levi, che resterà direttore

¹⁵ Id., *La struttura della sostanza vivente*, in «Minerva Medica», 34, 1945.

¹⁶ *Ibidem*.

dal 1972 fino al 1986 (quando nasce il Dipartimento di Anatomia e Fisiologia Umana). Alcuni suoi temi di ricerca (lo sviluppo del sistema neuromuscolare, la rigenerazione nervosa) risentono fortemente l'influenza delle ricerche di Giuseppe Levi. Nel ricordo del professore, Guido Filogamo chiama il pittore Ottavio Mazzonis a dipingere un quadro in suo onore che viene posto in cima allo scalone dell'Istituto. Nelle stanze dell'Istituto, tra i ricordi del suo lavoro (la camera delle colture, il filmato della microcinematografia), il mito dei tre premi Nobel, i giovani che affollano le aule e la sala settoria, si respira ancora l'aria austera del suo tempo, la dedizione al lavoro scientifico nel tipico *understatement* piemontese, si cerca di star al passo delle novità scientifiche e tecnologiche, si continua a studiare la neuroanatomia e ci si sente parte di una scuola di pensiero e di metodo che si è diffusa in Italia e nel mondo.

Nota bibliografica

Per un maggiore approfondimento della vita e delle opere di Giuseppe Levi, e del contesto socioculturale in cui operò, si consiglia la lettura dei capitoli 18 (a nome di M. Piccolino) e 19 (a nome di G. Magrini) del testo *The Birth of Modern Neuroscience in Turin*, a cura di S. Sandrone e L. Lorusso, Oxford University Press, Oxford 2022.

Ringraziamenti

L'autore è grato ai colleghi Marina Boido, Francesco Cappello e Ferdinando Di Cunto per la lettura critica del manoscritto e i suggerimenti.

Giuseppe Levi e i gangli cerebro-spinali

Viaggio storico-scientifico tra le ricerche sulle cellule nervose di un grande biologo del Novecento

MARCO PICCOLINO*

ANTONIO BARASA**

1. Geografia «famigliare» in casa Levi, le isole norvegesi e le balene

Insegnandomi la geografia, mia madre mi raccontava di tutti i paesi dov'era stato mio padre da giovane. Era stato in India, dove s'era preso il colera, e, credo, la febbre gialla; ed era stato in Germania e in Olanda. Era stato poi anche nello Spitzberg. S'era sporcato tutto col sangue di balena, e i vestiti, che aveva riportato indietro, erano imbrattati e duri di sangue secco¹.

Così Natalia Ginzburg ci parla, attraverso i racconti che ascoltava da sua madre, Lidia Tanzi, dei viaggi di suo padre, il grande anatomico e biologo Giuseppe (Beppino) Levi, «il Professore», protagonista – insieme con la moglie – di *Lessico famigliare*, un classico della letteratura italiana del Novecento.

Su questa epica ricerca dei gangli delle balene, Natalia ritorna poi in un «piccolo teatrino familiare» con un grazioso battibecco tra i due genitori.

Questo testo rispecchia solo in parte l'intervento tenuto da Marco Piccolino al convegno. Riprende invece piuttosto fedelmente un articolo pubblicato nel 2020, in due puntate, da Piccolino e da Antonio Barasa sulla rivista online «Naturalmente Scienza». Tra i numerosi archivisti e bibliotecari, che hanno reso possibile la nostra ricerca su Giuseppe Levi, ringraziamo, tra gli altri: Livia Iannucci e Daniele Ronco dell'Università di Pisa, Daniela Lo Brutto dell'Università di Palermo, Fioranna Salvadori e Laura Vannucci dell'Università di Firenze, Livio Vasieri della Comunità Ebraica di Trieste, Luca Cono Drago di Palermo, Paola Novaria dell'Archivio Storico dell'Università di Torino, Lee R. Hiltzik dell'Archivio della Rockefeller Foundation di New York (U.S.A.), Stephen E. Novak e Joanna Rios degli Archivi della Columbia University di New York (U.S.A.), Hermann Wichers dello Staatsarchiv della città di Basilea (Svizzera).

* Centro di Neuroscienze dell'Università di Ferrara, Via Ludovico Ariosto, 35, 44121 Ferrara; e-mail: marco.piccolino@unife.it

** Accademia delle Scienze di Torino.

¹ N. Ginzburg, *Lessico famigliare*, Einaudi, Torino 1963, p. 51.

Alludendo a sua madre, Emma Perugia, Giuseppe dice:

Poveretta, quando sono tornato dallo Spitzberg, che ero stato nel cranio della balena a cercare i gangli cerebro-spinali, avevo con me in un sacco i miei vestiti tutti sporchi di sangue di balena, e a lei le faceva schifo toccarli. Li ho portati in soffitta, e puzzavano in un modo terribile!

Non li avevo mica trovati, i gangli cerebro-spinali – disse mio padre.

Mia mamma diceva: «Ha sporcato dei vestiti buoni, per niente!»

«Forse non li avevi cercati bene Beppino!» – disse mia madre – «Forse li dovevi cercare ancora!»

«Macché! Sempia che non sei altro! Non era mica una cosa semplice! Ma guarda che asina che sei!»

«Io quand'ero nel mio collegio», – disse mia madre – «mi facevano anche a me studiare le balene. Insegnavano bene la storia naturale, a me mi piaceva molto)»¹.

Di questa ricerca dei gangli cerebrospinali delle balene nello Spitzberg (in realtà nell'isola Spitzbergen, la più vasta dell'arcipelago Svalbard nelle acque norvegesi, tradizionale stazione portuale nella caccia ai cetacei e alle foche) ci offre un racconto un po' diverso Rodolfo Amprino, l'allievo più amato di Levi e suo attento biografo. La divergenza principale con il racconto di Natalia è nelle ragioni dell'insuccesso. Secondo Amprino (il quale specifica che la ricerca riguardava i gangli sensoriali), Levi i gangli li aveva trovati, ma «la conservazione dei campioni non era sufficientemente buona per le preparazioni istologiche»². In linea di principio si sarebbe portati a ritenere più attendibile la biografia «scientifica» dell'allievo rispetto alla narrazione familiare della figlia. In questo caso però un dubbio sull'affidabilità di quanto Amprino dice nasce dal fatto che della fonte da lui citata non si riesce in effetti a trovare traccia. Dovrebbe essere una nota a piè di pagina di un lunghissimo articolo sull'argomento che Levi scrive nel 1908 – quasi quattrocento pagine con 60 tavole e 462 figure – ma nessuna delle note di questo testo allude alla cattiva conservazione dei campioni di gangli di balena³. Quello che apprendiamo dal ricordo del professore pubblicato da Amprino nel 1966, un anno dopo la sua scomparsa, è il motivo che portò Levi, in occasione di uno dei tanti suoi viaggi compiuti per interessi scientifici (o per partecipare a congressi), ad affrontare i vari disagi connessi alla difficile ricerca dei gangli dei cetacei.

¹ *Ibidem*, pp. 217-218.

² R. Amprino, *Giuseppe Levi (1872-1965)*, in «Acta Anatomica», 66, 1967, pp. 1-44.

³ G. Levi, *I gangli cerebrospinali. Studi di istologia comparata e di istogenesi*, in «Archivio italiano di anatomia e di embriologia», 7, 1908, pp. 1-392.

Si trattava di utilizzare questi animali per risolvere un problema biologico di grande rilevanza generale, che – a partire dagli anni della giovinezza – fu al centro degli interessi di Giuseppe Levi per tutta la sua lunga vita di ricercatore: il problema della relazione tra le dimensioni delle cellule nervose e la mole dell'animale. Una questione – come vedremo – che aveva attinenze con vari e importanti aspetti della neurobiologia, e che si svilupperà in numerose e imprevedibili diramazioni, fin nelle ricerche di una brillante allieva del professore, Rita Levi-Montalcini.

Le eccezionali dimensioni delle balene, animali che possono superare i trenta metri di lunghezza e che rappresentano gli esseri viventi di maggiori dimensioni, fornivano un'occasione speciale per verificare l'ipotesi a cui Levi stava allora lavorando, secondo la quale, a parità di altre condizioni, le dimensioni delle cellule nervose, e – tra queste – in particolare quelle dei gangli sensitivi e dei centri motori dell'asse cerebrospinale – crescono in relazione con le dimensioni dell'animale. Per rendersi conto delle basi razionali di questa ipotesi, bisogna considerare che nelle balene, come in tutti gli altri vertebrati, le fibre nervose motrici (assoni) o sensoriali (dendriti), destinate rispettivamente ai muscoli o ai territori periferici della sensibilità, sono il prolungamento, unico e continuo, di una singola cellula nervosa. Di conseguenza (e in particolare nel caso delle fibre destinate ai territori più lontani dall'asse cerebrospinale), la lunghezza di ogni singola fibra è nella balena necessariamente dell'ordine di diversi metri. Appare dunque logico assumere che il corpo cellulare, base trofica e strutturale dell'intera cellula nervosa, sia di dimensioni molto grandi, proporzionate alla grande massa di protoplasma (neuroplasma) contenuto in queste fibre di dimensioni gigantesche. Grande deve inoltre essere anche il territorio periferico di innervazione e quindi il numero e la lunghezza dei prolungamenti nervosi dipendenti da ciascuna fibra; circostanza questa che rappresenta un ulteriore elemento di stimolo alla crescita del corpo cellulare che deve assicurare il trofismo e l'attività metabolica di una grande massa protoplasmatica.

Come abbiamo detto in apertura, nonostante il giustificato interesse per i gangli delle balene, nel corso della sua permanenza all'isola Spitzbergen, Levi non era però riuscito a entrare in possesso di materiale utile per le sue ricerche istologiche intese a chiarire, in questi animali di mole grandissima, il problema della relazione tra dimensioni delle cellule nervose e dimensioni somatiche. Nella sua ricerca pubblicata nel 1908, e già citata, egli non poté dunque inserire le balene tra le numerosissime specie esaminate (56), che comprendevano individui appartenenti alle varie classi dei vertebrati, dai ciclostomi ai mammiferi, uomo compreso. Per gli esemplari di dimensioni corporee più grandi

esaminati, Levi si era dovuto limitare a uno squalo toro (*Carcharias lamia*⁴) di due metri di lunghezza, per i rettili a una *Iguana microtuberculata* di 85 cm di lunghezza, oppure, per i mammiferi, allo studio delle cellule nervose di cavalli e di bovini. L'unico dei cetacei che era riuscito a studiare era un delfino, di cui – avendo ricevuto da un collega solo la colonna vertebrale fissata in alcol – non poteva precisare le dimensioni corporee globali⁵.

Come Levi sottolinea, dal confronto di specie animali diverse emerge che il problema della relazione tra grandezza dell'animale e dimensioni della cellula nervosa non è unicamente determinato dalla mole somatica, ma dipende in modo importante anche da altri fattori. Tra questi, di particolare rilievo il modo in cui sono fissati i limiti delle dimensioni corporee nel corso dell'accrescimento fisiologico, e la fase dell'embriogenesi in cui si arresta la moltiplicazione dei precursori delle cellule nervose, i neuroblasti. In rapporto al primo fattore, vi sono specie nelle quali appaiono fissate in modo geneticamente ben definito le dimensioni che l'animale raggiunge nello stadio adulto, secondo limiti che non saranno superati per il resto della vita. Questa è la regola per la maggior parte degli animali, e in particolare dei vertebrati.

Vi sono però importanti eccezioni a questa norma, che hanno attratto sin dall'inizio l'interesse di Levi per il problema. Si tratta degli animali ad accrescimento continuo, e – in particolare – di alcuni rettili e pesci. Tra i primi, Levi include nella sua ricerca del 1908, varie specie di cheloni, tra cui la comune tartaruga marina, *Thalassochelys caretta*, o la tartaruga d'acqua dolce, *Testudo lutaria*, oppure specie terrestri come *Testudo graeca* e *Testudo nemoralis*. Per questi animali non sembra esserci in effetti un periodo della vita in cui la crescita si arresti davvero in modo definitivo: la mole corporea aumenta, sebbene con ritmo via via rallentato, per tutta la durata della vita, finché non interviene la morte.

Come è noto, le cellule nervose appartengono a quella categoria di elementi cellulari il cui numero viene fissato in una fase più o meno precoce dello sviluppo embrionale. È quindi da aspettarsi che, in animali a crescita potenzialmente indefinita, anche gli elementi nervosi aumentino di dimensioni in modo continuo, affinché i loro prolungamenti (assoni o dendriti) possano estendersi per correlarsi all'aumento dell'estensione e della distanza dei territori periferici da innervare. Questo non avviene per la maggior parte degli altri tipi cellulari (come, per esempio, gli elementi epiteliali) i quali, potendo riprodursi per tutta la vita, fanno fronte alle esigenze della crescita corporea

⁴ Manterremo di solito la nomenclatura delle specie utilizzata da Levi, che riflette la classificazione zoologica della sua epoca.

⁵ G. Levi, *I gangli cerebrospinali. Studi di istologia comparata e di istogenesi*, cit.

semplicemente con un aumento del loro numero. Come Levi nota nell'articolo del 1908 riferendosi alle cellule nervose, «l'aumento di volume di questi elementi, il quale è forse la nota più caratteristica del loro sviluppo in tutte le specie, dipende dalla precoce cessazione dei fenomeni di divisione cellulare negli elementi specifici»⁶.

2. Levi e il singolare pesce dalla strana crescita

Oltre alle tartarughe, tra gli animali a crescita apparentemente indefinita, vi è stato un animale che ha attratto in modo del tutto speciale l'attenzione di questo maestro della biologia del Novecento. Si tratta di un pesce osseo, il pesce luna (*sunfish*, pesce sole nella terminologia anglosassone), così detto per la strana forma a disco del suo corpo appiattito in senso verticale (e non espanso lateralmente). Il nome scientifico della specie studiata da Levi era *Orthogoriscus mola* (*Mola mola* nella terminologia zoologica attuale). Può raggiungere delle dimensioni colossali, e – in alcuni esemplari del genere *Mola* – il peso può superare le due tonnellate, rappresentando così il pesce osseo più grande tra quelli conosciuti (ricordiamo che le balene e gli altri cetacei sono mammiferi e non pesci).

Nel caso delle ricerche di Giuseppe Levi, le dimensioni dei pesci luna studiati sono molto inferiori a questi limiti estremi, raggiungendo – per l'esemplare più grande – gli 80 chili. Questo esemplare gli era stato fornito, insieme a un altro più piccolo (di 40 chili) durante il suo soggiorno a Palermo, città nella quale egli occupò la cattedra di anatomia umana dal 1914 al 1919, anno del trasferimento definitivo a Torino. Era stato il direttore della tonnara di Trabia «Il Cavalier Dentici» – come Levi ricorda in una sua memoria presentata all'Accademia Reale di Scienze, Lettere e Arti del capoluogo siciliano – a mettere gentilmente a sua disposizione i due pesci che, come egli dice, gli «furono spediti in ottimo stato di conservazione»⁷.

⁶ *Ibidem*, p. 289.

⁷ Il «Cavalier Dentici» nominato da Levi si chiamava Giacomo e apparteneva a una famiglia che da secoli esercitava la professione di *rais* (cioè «capo» delle tonnare). In effetti però il nostro Giacomo aveva lasciato l'attività tradizionale dei suoi antenati ed era divenuto comandante di vascelli commerciali in navigazione tra la Sicilia e l'Inghilterra (si esportavano soprattutto vino dolce, canna da zucchero, tonno, olio, sardine, si importavano porcellane, stoffe, manufatti vari, e stoccafisso). Si trattava di un lavoro rischioso e, a un certo punto, su insistenti richieste della moglie, Giuseppina Sunseri, Giacomo decise di abbandonare il mare, e ottenne un posto a terra, dopo aver superato un concorso come segretario al Comune di Trabia. Dalla tradizione di famiglia, e dalla sua esperienza di navigazione, gli veniva una profonda conoscenza e una grande passione per la pesca del tonno. Accadde così che il proprietario della tonnara (quasi certamente il principe Pietro Lanza di Trabia), che aveva grande fiducia in lui, gli affidò la dire-

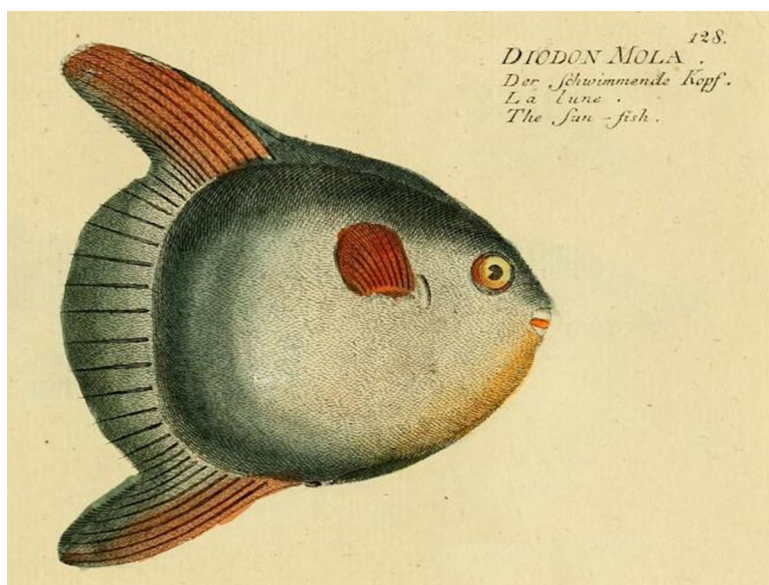


Fig. 1. Il pesce luna, *Orthogoriscus mola* (*Mola mola* della moderna terminologia), in un'immagine del 1786 che illustra un celebre trattato di ittiologia pubblicato dal grande studioso tedesco Marcus Elieser Bloch.

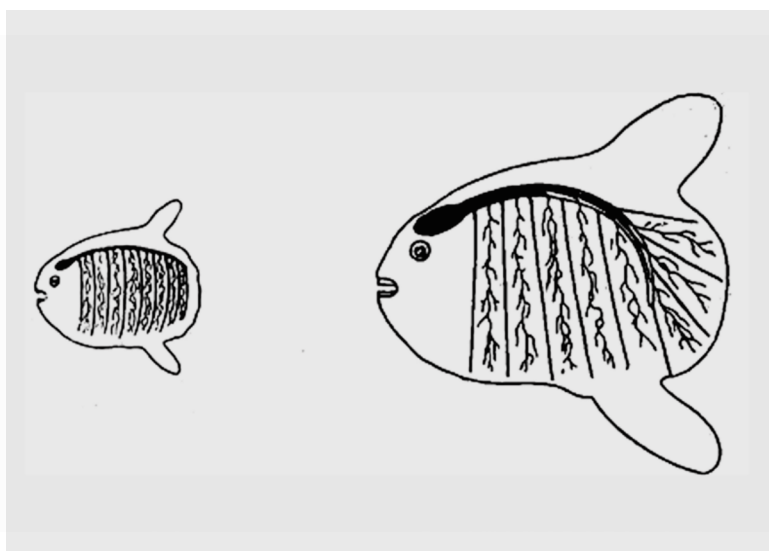


Fig. 2. Il disegno con cui nel lungo articolo del 1908 Levi illustra le ragioni della particolare crescita delle cellule dei gangli sensitivi nel pesce luna (*Orthogoriscus mola*).

Sebbene relativamente piccoli rispetto alle enormi dimensioni che questi pesci possono raggiungere, gli esemplari di Palermo erano comunque sensibilmente più grandi dei primi che Levi aveva avuto l'occasione di studiare, nel 1906, nel corso di un soggiorno presso la Stazione Zoologica di Napoli (del peso di 3 e 20 chili, e di età diversa).

Come Levi ci dice, vi erano «delle grandissime differenze nella costituzione dei gangli fra quei due esemplari di età differente; nel secondo esemplare le cellule gangliari erano di dimensioni notevolissime». Egli osserva inoltre che nel pesce di maggiori dimensioni il corpo cellulare delle cellule più grandi dei gangli spinali aveva una morfologia molto particolare, specialmente per la presenza di «un apparecchio fenestrato complicatissimo e molto esteso»⁸. Questa formazione era stata già notata da Levi nelle sue ricerche iniziali sulle grosse cellule dei mammiferi in un articolo che rappresenta il primo suo studio sistematico sulla relazione tra grandezza cellulare e mole corporea⁹.

zione dello stabilimento, un compito di supervisione tecnico-amministrativa, e non di *rais* vero e proprio. È in questo ruolo che nel 1915 il nostro cavaliere fece avere a Levi i due pesci luna che egli utilizzò per i suoi studi sui gangli spinali.

⁸ G. Levi, *Nuovi studi sull'accrescimento delle cellule nervose. Ricerche in Orthogoriscus mola*, in «Atti della Reale Accademia delle Scienze, Lettere e Arti di Palermo», 11, 1919, pp. 205-217. In realtà subito prima di Levi era stato Cajal, in articoli pubblicati tra il 1904 e il 1905, a descrivere il fenomeno della fenestrazione dei corpi cellulari nelle cellule dei gangli sensitivi. Inizialmente, in un lavoro condotto insieme con l'anatomico veterinario Dalmacio García Izcarra (e pubblicato sia in spagnolo che in francese nel 1904), Cajal aveva parlato di *células fenestradas* e di *células con pseudodendritas y protoplasma fenestrado* (cfr. S.R. y Cajal e D. García Izcarra, *Lesiones del reticulo de las células nerviosas en la rabia*, in «Trabajos del laboratorio de investigaciones biológicas de la Universidad de Madrid», 3, 1904, pp. 214-266. In questo lavoro le fenestrazioni (e altre modificazioni singolari del protoplasma) erano state identificate nelle cellule di animali infettati dal virus della rabbia, e – di conseguenza – considerate espressione di processi patologici. In un secondo articolo apparso nel 1905 in spagnolo e in tedesco, Cajal aveva mostrato la presenza di fenestrazioni e simili trasformazioni in vari mammiferi in condizioni normali, uomo compreso. I termini usati nella versione spagnola erano *fenestramiento*, *aparado fenestrado*, *células fenestradas* (cfr. S.R. y Cajal, *Tipos celulares de los ganglios sensitivos del hombre y mamíferos*, in «Trabajos del laboratorio de investigaciones biológicas de la Universidad de Madrid», 4, 1905, pp. 99-133. Levi conosceva questo ultimo lavoro, che cita infatti nel suo articolo del 1906 sulla grandezza delle cellule nei mammiferi. L'espressione da lui usata nell'articolo del 1919 sul pesce luna di Palermo, «apparato fenestrato», è chiaramente reminiscente dell'*aparado fenestrado* dello scienziato spagnolo. A differenza dello studioso italiano, Cajal non mise in relazione le cellule fenestrate con i temi della crescita neuronale e somatica.

⁹ G. Levi, *Studi sulla grandezza delle cellule*, I, *Ricerche comparative sulla grandezza delle cellule dei Mammiferi*, in «Archivio italiano di anatomia e di embriologia», 5, 1906, pp. 291-358. Per la sua singolare forma *Mola mola*, aveva attratto l'attenzione del biologo e matematico scozzese D'Arcy Wentworth Thompson, il quale, nella seconda edizione della sua opera monumentale *On Growth and Form* pubblicata nel 1942, vede nel pesce luna una trasformazione di

Nel caso del pesce luna, le prime immagini e le prime considerazioni di Levi apparvero in un articolo di rassegna che egli pubblicò nel 1907, mentre l'anno successivo diede alle stampe il lunghissimo testo già menzionato, dedicato ai gangli cerebrospinali di un grande numero di vertebrati. In questo testo egli sviluppò in modo particolare proprio l'analisi, sia sperimentale sia teorica, della particolare morfologia delle grandi cellule nervose di questi speciali pesci. Le ragioni per cui i pesci come *Orthogoriscus* attraevano l'interesse di Levi non dipendevano solo dalla loro grande mole e dalla loro proprietà di crescita indefinita che li accomunava ai cheloni (e anche a diversi invertebrati). A queste caratteristiche si aggiungeva anche il fatto che in questi animali il numero delle cellule nervose viene fissato precocemente nel corso dell'embriogenesi, cessando presto le divisioni cellulari. Il numero, che è allora piccolo ma proporzionato alla dimensione di questi pesci al momento della schiusa, si rivela poi via via relativamente esiguo, man mano che – con l'accrescimento – la mole corporea assume dimensioni notevoli. Come Levi mette in evidenza discutendo il problema della crescita in questa specie, sembra che *Orthogoriscus* sia come programmato geneticamente per essere un pesce di dimensioni ridotte, con un midollo spinale lungo pochi centimetri e un piccolo numero di segmenti nervosi. Poi – per motivi difficili da comprendere – il suo corpo può crescere fino a raggiungere una dimensione molto cospicua. Si viene a creare così negli animali di età più avanzata una evidente sproporzione geometrica tra l'estensione del midollo spinale e la lunghezza cranio-caudale del pesce, evidenziata particolarmente dalla grande lunghezza delle radici nervose lombo-sacrali (la cosiddetta cauda equina che è particolarmente lunga in questi animali). Un'ulteriore ragione di grande crescita delle cellule nervose è data dall'ingrandimento del corpo in senso dorso-ventrale che determina un grande aumento dei territori di innervazione di ogni singolo segmento midollare, particolarmente importante in questi pesci con il corpo a disco, rispetto quelli comuni, a forma più allungata.

Confrontando i pesci luna con specie animali che possono raggiungere notevoli dimensioni, come per esempio gli elefanti, bisognerà tener conto che – nel caso di questi ultimi – il numero definitivo dei neuroni è molto maggiore che in quei singolari pesci.

Negli esemplari di *Orthogoriscus mola* di grande dimensione accade che le poche cellule nervose disponibili, dovendo innervare con i prolungamenti nervosi territori via via più distanti e più estesi, cresceranno, a parità di altre condizioni, in modo molto più significativo che negli animali con grande numero

tipo isogonale rispetto ai più comuni pesci del genere *Diodon* (come il pesce istrice) filogeneticamente affini al pesce luna.

iniziale di neuroni. L'aumento della massa di prolungamenti che si irraggiano dal corpo cellulare, e della quantità di materiale protoplasmatico contenuto nell'assone dei motoneuroni, e nel dendrite periferico dei neuroni sensitivi dei gangli spinali (i quali crescono necessariamente in rapporto diretto con le dimensioni corporee), determinerà una crescita anche per i corpi cellulari, centri metabolici – come sappiamo – dei neuroni. Questo comporterà un significativo aumento delle dimensioni dei corpi cellulari, che – nel caso degli esemplari più grandi di *Orthogoriscus mola* esaminati da Levi – possono raggiungere il diametro di mezzo millimetro, un valore enorme per i neuroni di vertebrati.

Queste riflessioni vengono espone da Levi in modo sistematico nell'articolo del 1908, e – in particolare – nella sezione «Raffronti e considerazioni» di questo testo. Già nei suoi primi studi sull'argomento egli aveva comunque colto gli aspetti essenziali, e le implicazioni biologiche, della relazione tra grandezza (e forma) delle cellule nervose, da una parte, e, dall'altra, la mole dell'animale. Questo già in ricerche condotte tra fine Ottocento e inizio Novecento, a cui fece un riferimento in un articolo di rassegna pubblicato nel 1904. Discutendo alcune teorie dell'epoca sul rapporto tra intelligenza dell'animale e caratteristiche delle cellule nervose, e in particolare la loro grandezza, Levi riporta brevemente alcuni suoi dati precedenti che suggerivano una minore densità di cellule nervose negli animali di maggiori dimensioni (sia mammiferi che rettili); e scrive poi di ritenere «che la ragion d'essere di questo rapporto è da ricercarsi nella maggior superficie che ogni singola cellula occupa negli animali di maggior mole»¹⁰. Su questa base egli conclude affermando che «il volume del corpo cellulare e dei dendriti, e anche l'ampiezza della arborizzazione di questi ultimi, è sempre, senza eccezione, direttamente proporzionale alla mole dell'animale»¹¹.

È comunque soprattutto negli articoli pubblicati tra il 1906 e il 1907 che Levi affronta in modo diretto il problema della relazione tra grandezza dei neuroni e mole somatica¹². Nell'articolo del 1906, dedicato in modo particolare ai mammiferi, Levi mette in evidenza come, in relazione alla crescita somatica, vi sia una differenza di comportamento tra cellule incapaci normalmente di dividersi nell'individuo adulto (cellule nervose e muscolari, e fibre del cristallino, appartenenti alla categoria degli elementi perenni di Giulio Bizzozero) rispetto alle altre cellule dell'organismo (appartenenti alle categorie in grado

¹⁰ G. Levi, *Nuovi fatti pro e contro la teoria del neurone*, in «Monitore zoologico italiano», 15, 1904, pp. 130-147, cit. p. 145.

¹¹ *Ibidem*.

¹² Id., *Studi sulla grandezza delle cellule*, cit.; Id., *Di alcuni problemi riguardanti la struttura del sistema nervoso*, in «Archivio di Fisiologia», 4, 1907, pp. 367-396.

di dividersi anche nell'adulto: cellule stabili e labili della classificazione di Bizzozzero). Queste ultime fanno fronte all'aumento della crescita corporea (sia in animali di specie differente, che in animali della stessa specie di età e peso diversi), con un aumento del numero, e modificazioni generalmente insignificanti delle dimensioni cellulari. Solo per le cellule del primo tipo, e in particolare per le cellule nervose, vale la legge della relazione tra dimensioni cellulari e mole dell'animale.

Nel discutere il significato di questa relazione tra grandezza dei neuroni e mole dell'animale, Levi riconosce che in principio si tratta di un fatto sorprendente perché – se si realizzasse in modo indiscriminato per tutte le cellule dell'organismo – si andrebbe incontro a un aumento delle dimensioni cellulari in alcuni casi del tutto insostenibile a livello biologico, dal punto di vista sia strutturale che fisiologico (si provi a immaginare l'ingrandimento che si verificherebbe, se valesse questo principio, in cellule omologhe, passando dal topo all'elefante).

Nell'articolo del 1908 Levi riconosce infatti come, nel caso dei neuroni, possa destare meraviglia il fatto che sussista:

una dipendenza fra due elementi tanto eterogenei quali la grandezza del corpo e la struttura di un organo, sebbene ad ogni modo sia più verosimile che questa dipendenza esista fra organi che, come i nervosi, risentono più di tutti gli altri le conseguenze della maggiore durata e intensità dell'accrescimento del corpo; e questo avviene in particolar modo per effetto degli intimi rapporti anatomici, che si stabiliscono in un periodo precocissimo dello sviluppo, tra la loro parte periferica, la quale forma con la parte centrale un tutto unitario almeno dal punto di vista funzionale, e gli altri sistemi ed organi del corpo (p. 312).

3. Levi e le cellule nervose: un antico amore dalle imprevedibili diramazioni

Con le sue ricerche sui gangli cerebrospinali, Levi fu il primo, all'inizio del Novecento, a esaminare in modo sistematico il problema della relazione tra grandezza delle cellule nervose e mole somatica dell'animale. Come abbiamo notato, le sue ricerche misero in evidenza la complessità di questo rapporto, che non dipendeva soltanto da fattori puramente anatomici, ma implicava caratteristiche funzionali, quali i tempi e i ritmi della divisione cellulare, i tempi e i modi della crescita corporea. L'interesse di Levi per il sistema nervoso era stato molto precoce, risalendo alle sue prime ricerche, quando – ancora studente – lavorava insieme a Gino Galeotti nell'Istituto di Patologia Generale di Firenze diretto da Alessandro Lustig, e si era poi consolidato negli anni in cui – subito dopo la laurea fece ricerche nella Clinica Psichiatrica di

Firenze, insieme con grandi studiosi del sistema nervoso, come Eugenio Tanzi ed Ernesto Lugaro. È certo comunque che gli studi sulla grandezza delle cellule nervose, condotti in modo sistematico a partire dal 1906, contribuirono a rafforzare in lui la passione per la neuroistologia. In particolare essi furono un elemento importante del suo grande interesse per lo studio dei meccanismi della riproduzione e differenziazione dei neuroblasti nel corso dell'embriogenesi, e anche per l'investigazione dei rapporti anatomico-funzionali che le cellule nervose stabiliscono tra di loro e con le altre cellule dell'organismo¹³. Un'importante ricaduta dell'attenzione di Levi per il sistema nervoso fu indubbiamente la sua messa a punto della tecnica delle colture cellulari, che egli sviluppò nel 1916, proprio negli anni di Palermo, sulla scia delle ricerche condotte a partire dal 1907 dall'embriologo statunitense Ross Granville Harrison¹⁴. E non si va lontano dal vero dicendo che è dalle varie diramazioni delle ricerche di Levi e della sua scuola, nate sull'onda dell'interesse per i fattori che sono alla base della grandezza dei neuroni, che si svilupperà poi quel cammino di ricerca che – a partire dagli anni delle leggi razziali e della guerra – porterà una sua brillante allieva, Rita Levi-Montalcini, a iniziare gli studi destinati a concludersi, molti anni più tardi, con la scoperta del fattore della crescita neurale (NGF nell'abbreviazione inglese¹⁵). Il terreno dal quale si svilupparono le ricerche dell'allieva, sia dal punto di vista delle linee di investigazione che delle metodiche e approcci sperimentali, si nutriva infatti dell'interesse del maestro per i meccanismi della moltiplicazione, differenziazione e crescita delle cellule nervose, sia in condizioni fisiologiche che dopo manipolazioni sperimentali, stimolato dagli studi sulla relazione tra grandezza dei neuroni e mole corporea. Oltre allo sviluppo delle cellule in coltura (di cui Rita farà un uso magistrale tra 1952 e 1953 in una fase cruciale delle sue ricerche), nel solco degli studi sui meccanismi alla base della regolazione delle grandezza neuronale Levi e la sua scuola avevano

¹³ Oltre alla già citata biografia di Levi scritta da Amprino nel 1966, per una visione generale dell'opera dello studioso sono da consultare i seguenti recenti testi: A. Grignolio (a cura di), *Medicina nei Secoli*, numero speciale dedicato a Giuseppe Levi, 30, 1, 2018, pp. 1-445; M. Piccolino (a cura di), *Rita Levi-Montalcini e il suo Maestro. Una grande avventura nelle neuroscienze del Novecento alla scuola di Giuseppe Levi*, ETS, Pisa 2021.

¹⁴ R.G. Harrison, *Observations on the living developing nerve fiber*, in «Proceedings of the Society of Experimental Biology and Medicine», 4, 1907, pp. 140-143; G. Levi, *Differenziazione «in vitro» di fibre da cellule mesenchimali e loro accrescimento per movimento ameboide*, in «Monitore zoologico italiano», 1916, 27, pp. 77-84; Id., *Migrazione di elementi specifici differenziati in colture di miocardio e di muscoli scheletrici*, in «Archivio di Scienze mediche», 1916, 40, pp. 14-21; Id., *Sull'origine delle reti nervose nelle colture di tessuti*, in «Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei», s. V, 25, 1916, pp. 663-668.

¹⁵ R. Levi-Montalcini, *Elogio dell'imperfezione*, Garzanti, Milano 1987. Su Rita Levi-Montalcini cfr. il recente volume curato da Marco Piccolino e già citato *supra*.

sviluppato un grande interesse per l'embriologia e per la biologia sperimentale, entrambi settori fondamentali del bagaglio culturale e metodologico che Rita porterà con sé negli Stati Uniti. A proposito delle ricerche di biologia sperimentale di grande rilevanza per il tema della grandezza cellulare, fiorite nella scuola di Levi, è da ricordare in particolare un brillante esperimento eseguito nel 1920 da Tullio Terni, il primo suo allievo, il quale si era già interessato del problema nel 1915, con uno studio su invertebrati¹⁶. Nell'esperimento del 1920 condotto in un piccolo rettile, il gongilo ocellato, Terni asportò la coda a vari livelli della colonna vertebrale e attese poi che rigenerasse. Il moncone neoformatosi veniva innervato dalle ultime due o tre paia di gangli spinali al di sopra del livello della lesione, le cui cellule emettevano collaterali che andavano a innervare così nuovi territori sensoriali, oltre a quelli di loro normale pertinenza. In queste cellule lo studioso notò un significativo aumento del volume cellulare, che correttamente imputò «al grande aumento verificatosi nel territorio periferico che ciascuna di esse innerva», traendone la conclusione che si trattava di «una vera e propria ipertrofia cellulare nervosa tardiva, causata da stimoli formativi eccezionali»¹⁷.

Ancora più importante per i futuri studi della Levi-Montalcini è stato indubbiamente l'interesse di Levi (nato nel solco delle ricerche sul controllo della crescita neuronale), per l'embriologia sperimentale, e – in particolare – per lo sviluppo delle cellule nervose nell'embrione di pollo, a cui Rita fu avviata nei suoi primi anni di ricerca a Torino. In questo ambito si svilupparono nei primi anni Quaranta del Novecento gli studi condotti da allieva e maestro (in questo caso nel ruolo di collaboratore secondario come egli stesso riconosce in una lettera del marzo 1959 a Viktor Hamburger) sugli effetti indotti nelle cellule nervose dall'ablazione di tessuti periferici nel corso dell'embriogenesi. Ricerche che, dopo la guerra, Rita Levi-Montalcini continuerà negli Stati Uniti, proprio nel laboratorio di Hamburger, arrivando negli anni '60 del Novecento alla sua straordinaria scoperta dell'NGF.

4. Levi e le cellule nervose del pesce luna. Il fascino barocco dell'apparato fenestrato e la sua importanza funzionale

Tornando al tema proprio delle indagini di Levi sulle cellule nervose in animali di grosse dimensioni, e in particolare sul pesce *Orthogoriscus mola*, è particolarmente importante il modo in cui egli rende ragione dello sviluppo di

¹⁶ T. Terni, *Numero e grandezza delle cellule nervose. Ricerche sulle braccia dei cefalopodi octopodi*, in «Archivio italiano di anatomia e di embriologia», 14, 1915, pp. 481-512.

¹⁷ Id., *Sulla correlazione fra ampiezza del territorio di innervazione e grandezza delle cellule gangliari. 2. Ricerche sui gangli spinali che innervano la coda rigenerata, nei Sauri (Gongylus ocellatus)*, in «Archivio italiano di anatomia e di embriologia», 17, 1920, pp. 507-543.

quello speciale «apparecchio fenestrato complicatissimo e molto esteso» a cui egli allude nella memoria del 1919 sugli esemplari più grandi di pesci studiati a Palermo. Osservando queste modificazioni, Levi mette in evidenza come la crescita del corpo cellulare non avvenga nelle grandi cellule in modo semplice, mantenendosi forma e proporzioni rispetto alle cellule piccole, con un semplice cambiamento della scala. Nelle cellule grandi, il citoplasma assume forme molto singolari per lo sviluppo di strutture che egli indica come «lobulazioni», «canalicoli» «trabecole» «fenestrazioni», «fibre clavate» (e che ora sono indicate più comunemente come «parafiti», con un termine introdotto nel 1906, in altro contesto, dall'istologo francese Jean Nageotte, e che serve a distinguere queste formazioni singolari dai più comuni processi nervosi, i dendriti e gli assoni, a cui è attribuita la denominazione di «ortofiti»). Alcune delle formazioni osservate da Levi nelle cellule di grandi dimensioni sembrano attraversare il protoplasma, e quasi lacerarlo, facendo assumere ai contorni cellulari il carattere di una rete molto intricata che in alcuni casi simula le maglie di una rete dendritica.

Dinanzi a queste formazioni, indubbiamente Levi sente, come morfologo, l'attrazione per queste strutture «lussuose» e «barocche» delle cellule nervose grandi, presenti – come abbiamo già notato anche nei grossi mammiferi e in alcuni rettili, raffigurandole in alcune delle numerose figure (oltre 400 come sappiamo) che illustrano l'articolo del 1908 (e anche in una tavola della memoria del 1919). Egli non si limita però alla sola osservazione, ma va oltre il puro dato morfologico e sviluppa a riguardo importanti considerazioni di natura biologico-funzionale.

Levi si rende ben conto di come una crescita smisurata ponga dei problemi di ordine metabolico per i neuroni che sono tra le cellule a consumo di energia più elevato nei vertebrati. Gli scambi metabolici (di nutrienti, prodotti del catabolismo, di acqua e dei gas fondamentali per la vita cellulare – ossigeno e anidride carbonica) avvengono attraverso la membrana plasmatica, e – con un eccessivo aumento delle dimensioni cellulari – si determinerebbe, per ragioni puramente geometriche, una condizione sfavorevole all'interscambio tra il protoplasma e il microambiente extracellulare (fig. 4).

Questo avviene in quanto la massa cellulare aumenta con il cubo del raggio, mentre la superficie aumenta invece con il quadrato, e – di conseguenza – il rapporto superficie/volume diminuisce di dieci volte ogni volta che il raggio diventa dieci volte più grande. Per far fronte a queste difficoltà fisico-chimiche legate alle variazioni delle dimensioni, le cellule devono porre in atto accorgimenti opportuni, in grado di aumentare la superficie cellulare ed evitare così una riduzione del suo rapporto con il volume, tale da pregiudicare le funzioni metaboliche. È proprio ciò che si realizza con le varie espressioni di quello che Levi indica come «apparecchio fenestrato complicatissimo e molto esteso».

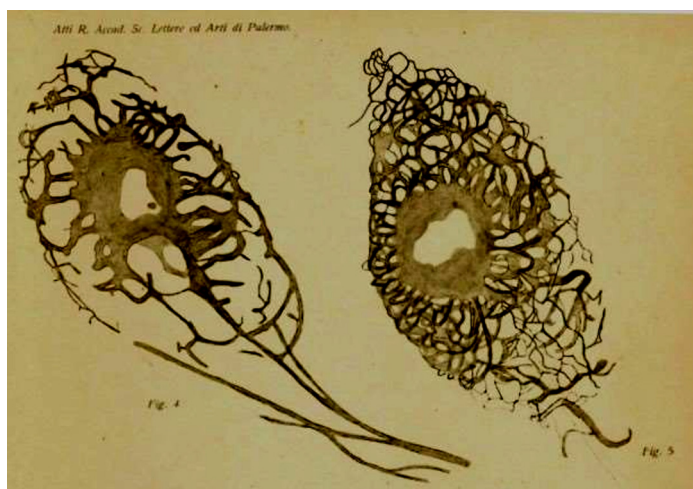


Fig. 4. Le due grosse cellule nervose del pesce luna da 80 chilogrammi che Levi illustra nella sua memoria del 1919, mettendo in evidenza la complessità delle formazioni in cui si sviluppa il corpo cellulare.



Fig. 5. Un'immagine d'epoca dell'odierna via Volturno a Palermo, vista da Porta Carini, con – a sinistra – il bastione dell'Aragona. Oltre il bastione (demolito nel 1935, in epoca fascista) c'era un terrapieno con il vecchio giardino botanico e alcuni edifici dell'università tra cui quello dell'Istituto di Anatomia. Fu in questo luogo che Levi studiò le cellule dei gangli sensitivi nel pesce luna, e – inoltre – mise a punto (primo in Italia) la tecnica di coltura di cellule in vitro. (Foto scattata nel 1899 da Emanuele Giannone). *Per gentile concessione di Luca Cono Drago.*

Nell'articolo del 1908, dopo aver menzionato le leggi della geometria che impongono limiti alle dimensioni massime delle cellule, egli scrive che «le variazioni della grandezza delle cellule in generale [sono] contenute entro limiti relativamente ristretti»¹⁸. Ponendo l'accento sulle differenze biologiche tra gli elementi cellulari che mantengono la loro capacità di divisione anche negli individui adulti (elementi stabili e labili), rispetto agli elementi che (come i neuroni) sono normalmente incapaci di riprodursi dopo la nascita, Levi continua dicendo:

*Negli elementi stabili e labili gli stessi stimoli trofici che provocano l'accrescimento della cellula, ne determinano la divisione, quando essa è prossima a raggiungere la sua grandezza limite. Questo non può naturalmente accadere in elementi che, come i nervosi, hanno perduto la capacità di dividersi, sin dai periodi più precoci della loro evoluzione; e perciò quando per effetto di stimoli informativi molto intensi, quali sono quelli che caratterizzano lo sviluppo degli animali di grande mole, la cellula gangliare sorpassa la sua grandezza limite, essa tende a raggiungere una forma che meglio della sferica ne favorisca la nutrizione, e a tale condizione rispondono appunto le reti e le fibre clavate per l'aumentata superficie in confronto alla massa, e anche per gl'intimi loro rapporti con la capsula connettivale*¹⁹.

E sottolinea, subito dopo, le grandi necessità metaboliche delle cellule nervose che rendono ancora più imperativi adattamenti morfologici atti a controbilanciare le sfavorevoli situazioni biologiche che si verrebbero a creare con aumenti eccessivi delle dimensioni cellulari.

Una circostanza ci rende anche meglio ragione della necessità di speciali adattamenti morfologici atti a favorire la nutrizione di questi elementi; che alla normale funzionalità delle cellule nervose in genere è indispensabile, più che a qualsiasi altro elemento, un perenne ed abbondante afflusso di materiali nutritivi liquidi e gassosi; una dimostrazione palese ne è data dalle rapidissime e profonde alterazioni che vi determina la soppressione della circolazione sanguigna.

Tre decenni dopo queste prime ricerche di Levi sui gangli cerebrospinali, formazioni analoghe furono osservate a Torino nell'Istituto da lui diretto, in cellule nervose in coltura da due giovani ricercatori originari di Berlino, entrambi di famiglia ebraica sebbene di estrazione sociale diversa (di famiglia modesta la prima, di estrazione altoborghese il secondo), ed entrambi in fuga dalla Germania a seguito delle leggi razziali promulgate dal regime nazista,

¹⁸ G. Levi, *I gangli cerebrospinali. Studi di istologia comparata e di istogenesi*, cit., p. 313.

¹⁹ *Ibidem*.

Hertha Meyer e Wolfgang Jablonski²⁰. I due studiosi riuscirono a coltivare per lungo tempo in vitro gangli spinali espianati da embrioni di pollo di 9-14 giorni, utilizzando la tecnica basata sull'uso delle fiaschette di Carrel, messa a punto da Albert Fisher e da Raymond Crandall Parker. La Meyer era molto esperta delle metodiche di coltivazioni in vitro che aveva appreso da Fischer stesso lavorando, nel periodo 1926-1930, come tecnica nel suo laboratorio al *Kaiser-Wilhelm-Institut für Biologie* di Berlino, una delle più prestigiose istituzioni scientifiche dell'epoca.

Nelle loro colture Meyer e Jablonski notarono che, prolungando il tempo di incubazione (fino a oltre quattro mesi), le cellule dei gangli crescevano progressivamente di dimensioni. Mentre nell'embrione il pericario di queste cellule ha una forma regolare e di tipo sferoidale (e simile è la forma nelle prime fasi della coltura, quando le cellule hanno dimensioni modeste), nelle fasi avanzate della coltura compaiono alla periferia del corpo cellulare lobulazioni complesse, e il protoplasma assume un aspetto fenestrato. Queste formazioni che, mancano nelle cellule dei gangli normali del pollo sia allo stato embrionale che nell'adulto, sono analoghe – secondo i due autori – alle formazioni descritte in precedenza da Levi nei grossi mammiferi, nelle testuggini e nell'*Orthogoriscus*; esse hanno probabilmente lo stesso significato metabolico funzionale, cioè di permettere un aumento della superficie cellulare, in modo tale che «vengano raggiunte condizioni più favorevoli per la nutrizione delle cellule di quelle che sarebbero state possibili con una semplice periferia rotonda»²¹. L'importanza di questi studi in riferimento alle conclusioni di Levi sulle leggi che regolano dimensioni e forma della cellula sta nel fatto che essi mostrano come le particolari modificazioni della superficie cellulare, notate dallo scienziato torinese nelle grosse cellule di animali di grandi dimensioni, non sono tanto fenomeni specifici di particolari animali, ma possono prodursi in qualsiasi specie allorché – con l'eccessiva crescita del pericario – rischia di alterarsi il delicato equilibrio metabolico assicurato da un rapporto ottimale tra superficie e volume cellulare.

Nella letteratura scientifica viene indicata come «Legge di Levi» la norma che stabilisce la correlazione tra grandezza somatica delle cellule nervose e mole dell'animale, proprio per l'importanza degli studi di Levi in questo

²⁰ Sulla Meyer e Jablonski, e su altri ricercatori ebrei che Levi ospitò nel suo Istituto in quegli anni difficili cfr. M. Piccolino, *L'Istituto anatomico di Giuseppe Levi a Torino: «terra promessa» per scienziati ebrei in fuga*, in Id. (a cura di), *Rita Levi-Montalcini e il suo Maestro*, cit., pp. 159-180.

²¹ H. Meyer e W. Jablonski, *Cultivation of Nerve Cells in vitro over a long Period. Second Note*, in «*Journal of Anatomy*», 72, 1937, pp. 62-65. Nell'originale, in inglese, si legge, a p. 64: «By this change of outline their surface increases, more favourable conditions for the nutrition of the cells are attained than would have been possible in big cells with simple round periphery».

ambito, sebbene personalmente lo studioso non avesse mai usato questa espressione nei suoi scritti.

Come abbiamo cercato di mostrare in questo articolo, non si trattava di una pura legge anatomica, ma di un principio che ha importanti implicazioni funzionali, e che – come abbiamo detto – fu storicamente uno degli elementi del grande interesse di Levi e della sua scuola per la biologia delle cellule nervose, contribuendo a tenere alto il livello degli studi italiani in questo settore, anche in anni difficili per la cultura e la scienza come quelli del fascismo.

Esponendo in questo articolo le ragioni che indussero lo studioso a interessarsi di queste problematiche, e delineando in modo sommario le sue conclusioni, ci siamo sforzati di far luce su un capitolo importante della biologia del Novecento, ora quasi dimenticato.

Vi è un'altra ragione che è alla base di questo nostro scritto. Essa è in relazione con un fatto singolare. Attraverso le vie misteriose della storia minore, è sopravvissuto e giunto fino a noi uno dei vetrini istologici degli studi condotti da Levi su questo tema, utilizzando, per colorare le cellule nervose, il metodo dell'argento ridotto di Cajal (nella modificazione messa a punto da Fernando de Castro Rodríguez, allievo dello scienziato spagnolo).

Questo prezioso e storico vetrino era stato allestito da Levi a Palermo. Almeno fino a qualche anno fa, era conservato – insieme a tanti altri preparati istologici di Levi – nell'Istituto di anatomia umana di Torino, in una grande istoteca con due pile di sottili cassetti. Nel vetrino sono contenute alcune sezioni, volutamente spesse qualche decina di micrometri, di un ganglio spinale di *Orthogoriscus* del peso di 80 kg, il più grande tra quelli di questa specie di Teleostei forniti nel 1915 al Professor Levi per le sue ricerche sui gangli spinali, dal Cavalier Dentici, direttore della Tonnara di Trabia. Da una delle sezioni di questo vetrino venne, con molta probabilità, ricavato il disegno che Levi inserì nella sua pubblicazione del 1915 (fig. 6). Negli anni Cinquanta del Novecento alcune sezioni di questo vetrino sono state fotografate al microscopio da Antonio Barasa (fig. 7), facendo risaltare chiaramente lo sviluppo tridimensionale dell'apparato fenestrato descritto da Levi. Nel 1960, Barasa ha pubblicato, con la sapiente supervisione dello stesso Levi, uno studio sulla morfologia, la grandezza e la densità dei neuroni dell'area motrice della corteccia cerebrale di 12 specie di mammiferi di grandezza corporea differente, dal topo al cavallo, uomo compreso. A questa ricerca fece seguito nel 1961 uno studio dello stesso tipo sull'elefante, condotto in collaborazione con Abraham Shoshatovitz, che si era laureato in veterinaria a Pisa²². Con queste

²²A. Barasa, *Forma, grandezza e densità dei neuroni della corteccia cerebrale in mammiferi di grandezza corporea differente*, in «Zeitschrift für Zellforschung», 53, 1960, pp. 69-89; Id. e A. Shoshatovitz, *Grandezza e densità delle cellule nervose della corteccia cerebrale di Elephas indicus*, in «Rendiconti dell'Accademia nazionale dei Lincei», 30, 1961, pp. 246-248.

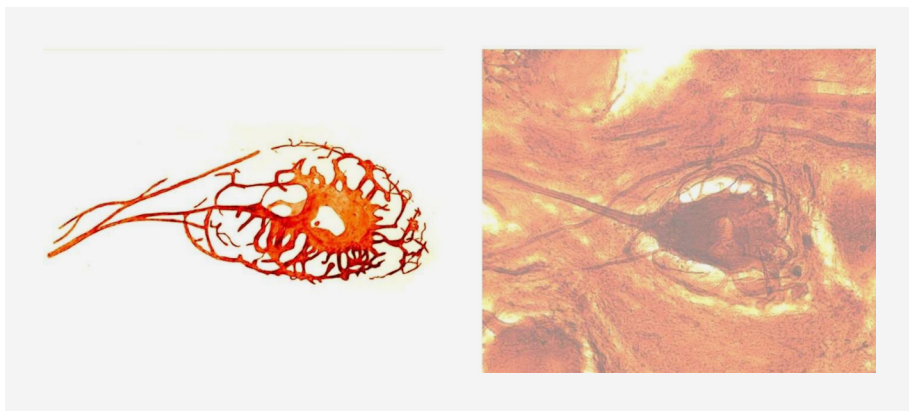


Fig. 6. Confronto tra il disegno di una delle due cellule del pesce luna da 80 chilogrammi studiato da Levi a Palermo, e la foto eseguita recentemente sul vetrino giunto fino a noi. (L'immagine a destra è una microfotografia eseguita da Dario Cantino).

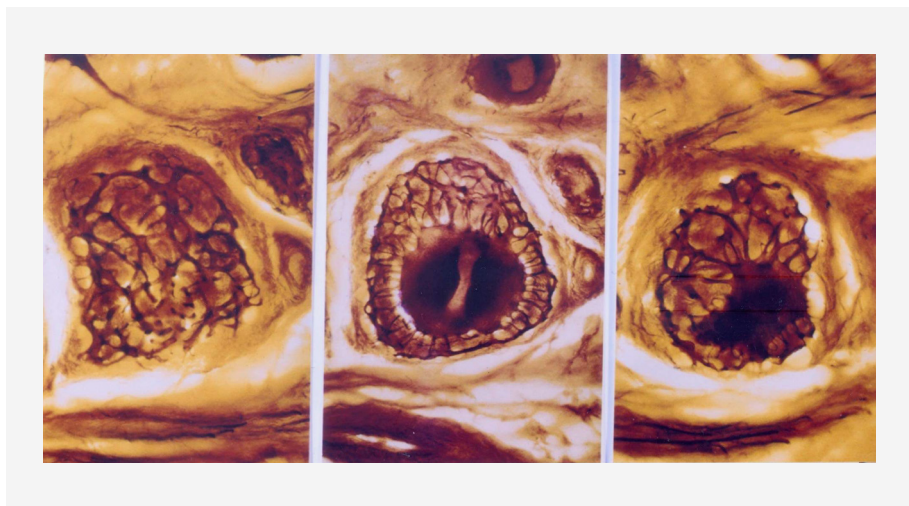


Fig. 7. Tre microfotografie a successivi piani focali di un vetrino di Levi con immagini di un neurone dei gangli sensitivi di pesce luna che permettono di apprezzare lo sviluppo dell'apparato fenestrato caratteristico del corpo di queste cellule. Metodo dell'argento ridotto di Cajal-De Castro. (Microfotografie di Antonio Barasa).

ultime ricerche venne ampiamente confermate, anche per i neuroni cerebrali, le conclusioni di Levi sullo stretto rapporto tra mole somatica e grandezza cellulare, basate sullo studio dei neuroni dei gangli spinali in gran numero di vertebrati.

5. Una ricerca ritardata, la storia e la memoria

Riguardo all'epoca della ricerca di Levi, ci potremmo porre il problema delle ragioni per cui si concluda nel 1919 una ricerca iniziata certamente nel 1915 (i gangli dovevano essere fissati il più presto possibile dopo l'arrivo perché lo «stato di conservazione» era uno dei fattori più importanti del successo delle procedure istologiche). Cosa particolarmente sorprendente questo apparente ritardo per un personaggio come Levi capace di lavorare a un ritmo decisamente intenso, e – secondo la testimonianza di allievi e colleghi – pressoché insensibile alla fatica fisica.

Uno dei fattori che certamente contribuiscono a spiegare il ritardo è il fatto che nel 1915 Levi era occupato a sviluppare la metodica delle cellule in



Fig. 8. Vetrino originale di Giuseppe Levi con cellule in vitro coltivate con il sistema della «goccia pendente», ideato da Harrison nel 1907, che Levi aveva adottato e perfezionato negli anni trascorsi a Palermo. La coltura consiste di una goccia di plasma di pollo adulto, coagulato per la presenza di una piccola quantità di estratto di embrioni di pollo, distesa su un vetrino coprioggetto. In questo mezzo nutritizio viene sistemato il materiale che si intende coltivare, un piccolo frammento di un tessuto o di un organo, preferibilmente embrionali, quindi capovolto su di una lamina di vetro molto spessa, con un incavo centrale, e sigillato a questo con paraffina fusa, in modo che il mezzo di coltura e il materiale cellulare in esso contenuto vengano a trovarsi sulla volta di una cameretta chiusa, contenente aria e quindi anche ossigeno. Nel caso dell'immagine qui riportata la coltura, dopo alcuni giorni, è stata staccata dal suo supporto, colorata con il metodo di Cajal-De Castro e fissata con balsamo a un comune vetrino porta oggetti per essere osservata al microscopio e fotografata. (Fotografia di Dario Cantino).

coltura, che per le sue complessità tecniche e sperimentali richiedeva da lui un grande impegno fisico e intellettuale. Nel periodo 1916-1919 egli pubblica infatti una quindicina articoli basati sull'uso di tessuti e cellule coltivati al di fuori dell'organismo.

L'altro fattore è certamente l'irruzione nella nostra piccola storia, della grande e drammatica storia del Novecento. Come apprendiamo dal libretto personale intestato a Levi del «Comitato provinciale di Torino della Croce Rossa Italiana», l'11 agosto del 1916, egli viene «chiamato in servizio nel personale della C.R.I. e contemporaneamente collocato fuori quadro a disposizione della Sanità Militare»; lo stesso giorno gli viene riconosciuto il grado di Medico Capo (Capitano) con decreto legge del 18/2/1917; e poi, «il 15 agosto 1916», Levi viene «assegnato per mobilitazione alla 18 Sezione Sanità» e subito condotto «in territorio dichiarato in stato di guerra». Levi rimarrà in servizio nella Sanità Militare per tutta la durata della Grande Guerra, prima come Capitano, e poi (dal 31 maggio 1917) come Maggiore, e verrà congedato il 2 maggio del 1918²³ (fig. 9).

Queste poche note nel linguaggio della burocrazia militare dell'epoca rendono ampiamente ragione del tempo che trascorre tra l'arrivo del grosso pesce nei locali dell'Istituto di Anatomia di Palermo (allora collocato nella zona di Porta Carini, come Levi stesso ricorda in una lettera ad Amprino del 1960) e la pubblicazione della ricerca. Con tutta probabilità egli aveva subito fissato i gangli, e, verosimilmente, li aveva presto colorati e sezionati, ma aveva dovuto rinviare lo studio vero e proprio, e la pubblicazione, a tempi più propizi.

Ricordiamo che, poco prima della mobilitazione, si era verificato un avvenimento importante per la vita familiare di Levi. Sua moglie Lidia Tanzi aveva dato alla luce, il 14 luglio 1916, una bambina, Natalia, l'ultima dei cinque figli della coppia. In *Lessico familiare*, il libro scritto molti anni dopo da quella che rimarrà per sempre la piccola di casa (Natalia era di sette anni più piccola del minore dei suoi fratelli, Alberto), «il Professore» emerge – insieme con sua moglie – in memorabili episodi in cui la vita quotidiana di casa Levi si interseca con la grande storia del Novecento.

Abbiamo iniziato il nostro testo proprio seguendo il volume di Natalia, e in particolare la narrazione, fatta da Lidia alla figlia nel corso di lezioni familiari di geografia, della ricerca infruttuosa dei gangli delle balene. Una ricerca che aveva condotto il padre in una lontana isola dei mari del nord, spinto da un interesse che noi abbiamo in parte condiviso, e che abbiamo qui cercato di spiegare, e forse anche di suscitare, nei nostri lettori.

²³ Il libretto della Croce Rossa Italiana si trova stranamente inserito in calce a una biografia anonima di Levi pubblicata sul Portale dell'Ebraismo Italiano alla pagina: <http://moked.it/ame/files/2017/12/LeviGiuseppe2.pdf>.

Missioni, incarichi speciali, corsi d'istruzione, esperimenti di mobilitazione, ecc. in servizio della Croce Rossa Italiana.		
DATA		
11	AGOSTO	1916 Chiamato in servizio nel personale della C.R.I. e contemporaneamente collocato fuori quadro e a disposizione della Sanità Militare
11	AGOSTO	1916 Riconosciuto il grado di Medico Capo (CAPITANO) con D.L. del 18/2/1917
15	AGOSTO	1916 Tale assegnato per Mobilitazione alla 18 Sezione Sanità
15	"	" Tale giunto
15	"	" Giunto in territorio dichiarato in istato di guerra
16	GENNAIO	1917 Tale assegnato alla Direzione Sanità Palermo
16	"	" Partito da territorio dichiarato in istato di guerra
==	====	== Tale proveniente dalla 18° Sezione Sanità, giunto
24	GENNAIO	1917 Congedato per esonerazione temporanea quale insegnante Universitario
24	GENNAIO	" Ha cessato di prestar servizio nel personale della C.R.I. e quindi è venuto a cessare il riconoscimento del grado acquisito e per gli effetti del R.D. 23/5/1915 N°719 modificato dal D.L. 25/7/1915 N°1162
6	GIUGNO	1917 Richiamato in servizio nel personale della C.R.I. ed assegnato alla 17° Sezione Sanità
6	GIUGNO	1917 Riconosciuto il grado di Ispettore Medico di II° classe (MAGGIORE) con R.D. del
6	"	" Tale assegnato alla 17° Sez. San. per richiamo in serv. giunto
6	"	" Giunto in territorio dichiarato in istato di guerra
5	OTTOBRE	1917 Tale assegnato all'Ospedale N°042
==	===	== Tale proveniente dalla 17° Sezione Sanità, giunto
11	DICEMBRE	" Tale assegnato alla Direzione Sanità III ^a Armata
==	===	== Tale proveniente dall'Ospedale 042, giunto
14	DICEMBRE	1917 Tale assegnato alla 14 ^a Sezione Sanità
==	===	== Tale proveniente dalla Direz. San. III ^a Armata, giunto
29	GENNAIO	1918 Cessato dalla posizione fuori quadro e a disposizione dell'

Fig. 9. Una pagina del libretto della Croce Rossa Italiana relativo a Giuseppe Levi, da cui risulta il servizio da lui prestato durante il periodo della Prima Guerra Mondiale.



Fig. 10. Lidia Tanzi con i figli, in una foto eseguita molto probabilmente all'inizio degli anni Venti del Novecento a Torino, la città in cui la famiglia Levi si trasferisce nel 1919, quando Natalia ha tre anni. Lidia è al centro della foto con Natalia bambina appoggiata a lei. Gli altri figli sono – da sinistra a destra nella foto: Gino, Paola, Mario e Alberto. *Per gentile concessione dell'Archivio Levi-Ginzburg.*

Da un altro punto di vista, nel corso della nostra ricerca tra storia e scienza ci siamo resi conto con una certa sorpresa, di come, mentre di moltissime cose ed eventi si perde nel corso di pochi anni la traccia, è possibile a volte ritrovare i fili di una storia come questa, che idealmente porta, attraverso un grande capitolo della biologia del Novecento, dalla pesca di un animale singolare nelle acque della Sicilia, a un vetrino istologico che ancora possiamo guardare e studiare al microscopio.

Sull'imprevedibilità della storia e della memoria, si è interrogato un grande scrittore del Novecento la cui opera circolava in casa Levi, soprattutto per le letture che ne faceva il *côté* letterario della famiglia (la madre Lidia, e la maggiore delle figlie, Paola, e poi Natalia) e anche, tra i frequentatori della casa, Tullio Terni, e un «proustiano fervente» di cui Paola si era innamorata (Giacomo Debenedetti). In *À l'ombre des jeunes filles en fleurs*, uno dei volumi della *Recherche du temps perdu*, Proust ci ricorda come, per l'imprevedibilità della storia, siano potuti giungere fino a noi dopo millenni, i testi di scarso valore di un mediocre poeta egiziano o la lista dei partecipanti a una battuta di caccia organizzata per il re Assurbanipal, sette secoli prima di Cristo.

In un modo per certi versi analogo, il destino ha voluto che un esemplare di *Orthogoriscus mola* di 80 chili, pescato nel 1915 in una tonnara palermitana non sia finito – seguendo un ordinario e prosaico destino – sui banchi del mercato cittadino, e quindi su qualche tavola imbandita, ma sia servito per uno studio scientifico; e che addirittura una parte dei suoi tessuti sia anche giunta fisicamente fino a noi «in ottimo stato di conservazione», per parafrasare le parole di Levi.

E che noi abbiamo potuto scriverne la storia.

La scuola torinese: Rita Levi-Montalcini

ANTONINO CATTANEO*

La vita e l'opera di Rita Levi Montalcini sono state descritte, innanzitutto, nella sua meravigliosa autobiografia *Elogio dell'imperfezione* e poi in molti altri scritti. Cercherò qui di fornire alcuni spunti di riflessione sulla sua vita scientifica, a partire da un ricordo personale. Ho conosciuto Rita nel '79, quando ero uno studente perfezionando alla Scuola Normale di Pisa. Avevo letto di questa scienziata rientrata dagli Stati Uniti e della sua scoperta del *Fattore di Crescita Nervoso* e desideravo conoscerla. Mi sono recato senza appuntamento all'Istituto di Biologia cellulare del CNR a Roma, in via Romagnosi, dove ho trovato una signora elegantissima intenta a fotocopiarli degli articoli nel corridoio. Mi sono presentato e mi ha subito aperto la porta della sua stanza, dedicandomi oltre due ore, una conversazione che mi ha cambiato la vita. Da allora, la nostra frequentazione non si è mai interrotta.

1. L'entusiasmo di Rita Levi Montalcini per la ricerca

Credo che ci siano poche cose al mondo così piacevoli come far nascere delle idee e poi covarle [...]. È questo uno dei lati affascinanti del mio lavoro, ci si sente sempre un po' come cani da tartufi e se anche non si trova il tartufo c'è in aria l'odore che è molto eccitante.

Così si legge in una delle lettere che Rita scrisse alla madre e alla sorella Paola¹, dove ricorre sovente questa metafora dei tartufi, le sue idee.

Nel 2007, – siamo quindi alcuni anni dopo la fondazione dell'Istituto di ricerca EBRI (*European Brain Research Institute*), ovvero la sua creatura – Rita un giorno si presenta in Istituto e ci parla di un progetto che

* Presidente del Levi-Montalcini European Brain Research Institute; Professore Ordinario di Fisiologia; Direttore del Bio@SNS Laboratorio, Scuola Normale Superiore di Pisa; e-mail: antonino.cattaneo@sns.it.

¹ Le lettere sono pubblicate in R. Levi-Montalcini, *Cantico di una Vita*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2000.

voleva portare avanti. La nuova idea si basava sui suoi storici esperimenti degli anni '50, grazie ai quali aveva scoperto l'NGF come il fattore neurotrofico responsabile per la sopravvivenza di alcune popolazioni nervose, i neuroni sensoriali e simpatici. Ripensando a quegli esperimenti, nei quali aveva studiato embrioni di pollo ad un'età dello sviluppo embrionale in cui si forma il sistema nervoso, Rita si domanda perché l'NGF ed i suoi recettori siano espressi, nell'embrione di pollo, giorni prima che si siano formati i neuroni bersaglio del NGF, ovvero i neuroni simpatici e sensoriali. La sua domanda era molto semplice: qual è la funzione dell'NGF, a questa età embrionale precoce, che precede la comparsa delle sue cellule bersaglio note? Con questa semplice domanda, Rita ha voluto riprendere i vecchi esperimenti, e proprio con gli embrioni di pollo che nessuno oramai in laboratorio sapeva più maneggiare. Nonostante la sua vista fosse poco efficiente, si metteva al microscopio e con la memoria visuo-motoria mostrava alle giovani ricercatrici coinvolte in questo progetto come dovessero manipolare l'embrione stesso (fig. 1).

È stato un periodo indimenticabile per tutti noi, ed un periodo di euforia anche per Rita, che era ritornata ad uno dei suoi «tartufi», ad una domanda da perseguire con urgenza, alla soglia dei 100 anni; si divertiva davvero molto a venire in laboratorio tutte le mattine a discutere i risultati e pianificare gli esperimenti (fig. 2).

I risultati di questa esperienza hanno portato alla pubblicazione dell'articolo *Nerve growth factor regulates axial rotation during early stages of chick embryo development*, pubblicato sui «Proc. Natl. Acad. Sci USA» nel 2012², facendo di lei, allora ultracentenaria, l'autrice più anziana che abbia mai pubblicato sui «PNAS».

2. Quali sono stati i semi che hanno portato alla scoperta dell'NGF?

Troviamo la risposta in un passo nell'*Elogio dell'imperfezione* dove è riportata un'immagine bellissima, quella di una giovane ragazza che durante i tempi cupi della guerra, nell'estate del 1940, si regala una gita in treno. L'immagine del treno è ovviamente una triste evocazione – si trattava infatti degli ex carri bestiame che venivano usati per le tratte regionali perché gli altri treni erano dedicati all'esercito.

² A. Manca *et al.*, *Nerve growth factor regulates axial rotation during early stages of chick embryo development*, in «Proc. Natl. Acad. Sci.», 109, 2012, pp. 2009-2014.



Fig. 1. Rita Levi-Montalcini al microscopio nel laboratorio dell'EBRI (*European Brain Research Institute*, da lei fondato nel 2002), mentre mostra alle sue collaboratrici come dissezionare embrioni di pollo. (Fotografia di Maurizio Riccardi, Agr Press. Archivio Media di EBRI).



Fig. 2. Rita Levi-Montalcini nel laboratorio dell'EBRI con le sue collaboratrici (da sinistra Annalisa Manca, Anna Di Luzio e Francesca Paoletti). (Fotografia di Maurizio Riccardi, Agr Press. Archivio Media di EBRI).

Rita viaggiava su uno di questi treni con l'amico Guido per raggiungere un piccolo villaggio in montagna. Era sul treno, con le gambe penzoloni fuori, il treno che andava lontano... un'immagine quotidiana molto piacevole; Rita era felice, perché viveva un momento spensierato, e porta con sé un articolo dal titolo *The Effects of Wing Bud Extirpation on the Development of the Central Nervous System in Chick Embryos* di V. Hamburger:

mentre mi godevo il panorama e l'aria odorante di fieno, leggevo distrattamente un articolo che mi era stato dato due anni prima da Levi. Si trattava di una ricerca pubblicata nel 1934, su un periodico americano, da un allievo di Spemann, [...] Hamburger aveva studiato nell'embrione di pollo l'effetto dell'ablazione di un arto sui sistemi motori e sensitivi destinati alla sua innervazione. Negli embrioni così trattati, ed esaminati una settimana dopo l'intervento, aveva osservato che la colonna motoria ed i gangli spinali sensitivi [...] erano di volume molto ridotto. Interpretava questa riduzione come conseguente alla carenza di un fattore induttivo normalmente rilasciato dai tessuti periferici, necessario alla differenziazione delle cellule nervose motorie e sensitive. In assenza di questo fattore le cellule nervose non erano in grado di differenziarsi [...].

È l'articolo di Hamburger del 1934³, dove erano descritti i famosi esperimenti sull'influenza del territorio periferico sull'innervazione; per ripetere quanto descritto in queste pagine Rita eseguirà di nuovo gli esperimenti nel suo laboratorio durante la guerra. Quindi quel giorno, su quel treno, Rita si immerge nella lettura di questo articolo datole tempo addietro da Levi e lo legge distrattamente, poi a poco a poco sempre con più attenzione, catturata dalla chiarezza dello stile e dalle argomentazioni dell'autore.

Erano esperimenti in cui negli embrioni venivano tagliati gli abbozzi degli arti, oppure trapiantati abbozzi di arti sovrannumerari, in modo tale che si vedesse come l'innervazione che era deputata a innervare questo territorio periferico, venisse influenzata. Negli embrioni così trattati, ovvero nei quali un arto era stato ablato con una microchirurgia molto raffinata (con dei capelli che venivano usati come piccoli lacci), i corrispondenti territori neuronal di innervazione, sia motori sia sensoriali, risultavano di volume molto ridotto.

³ Hamburger nel 1934 era negli Stati Uniti, si era recato nel 1932 a Chicago con una borsa della Rockefeller Foundation. Nel '33 gli aveva scritto Spemann comunicandogli che la situazione in Germania si stava mettendo male e che non avrebbe potuto riavere il suo posto, per questo gli consigliava di trovarsi una posizione negli Stati Uniti. Hamburger tornò quindi in Germania a prendere la famiglia e ritornò negli Stati Uniti.

Rita venne rapita dalla lettura di questo articolo, scrive infatti:

non so quanto le particolari condizioni ambientali nelle quali lessi l'articolo influirono sul mio desiderio di approfondire lo studio di questo effetto, ma fu una decisione che ancora oggi è in me indissolubilmente legata ai ricordi di quel pomeriggio estivo e all'odore di fieno che entrava nei vagoni. Non immaginavo però, allora, che questo interesse e le ricerche che avrei eseguito, avrebbero esercitato un ruolo fondamentale nel mio futuro.

Questa è una memoria tipicamente proustiana, anche noi, leggendo queste righe, sentiamo l'odore del fieno estivo, insieme con questa ragazza che viaggia su un treno, intenta a leggere... Ecco il seme della futura scoperta, l'inizio della saga del *Nerve Growth Factor* (NGF).

Hamburger era stato un allievo di Spemann, che aveva scoperto il fenomeno dell'induzione embrionale, secondo il quale alcuni territori embrionali (l'organizzatore di Spemann-Mangold) potevano specificare il destino di territori embrionali circostanti, inducendoli a proliferare e a differenziarsi (in particolare il fenomeno dell'induzione neurale); quindi il meccanismo dell'*induzione* è un fenomeno positivo.

Nel suo articolo del 1934, Hamburger ipotizza un'azione positiva di induzione neurale su una popolazione embrionale immatura e non ancora specificata né differenziata. Nel 1939, Hamburger pubblica ancora un articolo in cui, invece che togliere gli arti, trapianta degli arti soprannumerari e vede l'effetto opposto. Descrive quindi un'azione positiva ed una negativa, che chiama «ipoplasia e iperplasia», ovvero «mancato differenziamento e aumentato differenziamento».

Giuseppe Levi e Rita Levi-Montalcini decidono di riesaminare la questione nel laboratorio che Rita allestisce nella sua camera, prima a Torino e poi nell'astigiano, e nel '41-'42 ripetono questi esperimenti, apportando però alcune modifiche sostanziali agli esperimenti di Hamburger. Anzitutto, mentre Hamburger aveva analizzato soprattutto i motoneuroni, loro studiano anche in grande dettaglio i gangli sensoriali spinali. Inoltre fanno un'analisi con molti punti temporali (tra 4 e 20 giorni), che potremmo chiamare «cinematografica», a differenza di Hamburger che aveva studiato un solo tempo (8 giorni). Infine usano il metodo dell'impregnazione argentea, che era un punto di forza del laboratorio di Giuseppe Levi, permettendo di visualizzare e distinguere molto bene tra un neurone differenziato e neuroni non differenziati.

Molto spesso, nei suoi scritti e nelle sue lettere, Rita parla di questi aspetti cinematografici, nell'analisi dello sviluppo embrionale e nello studio dei movimenti delle cellule durante lo sviluppo: è quello che si potrebbe chiamare un *côté* artistico di Rita, un punto di vista cinematografico dello sviluppo del

sistema nervoso⁴ (ovviamente al tempo non c'era quello che oggi chiamiamo il *live imaging*, con il quale possiamo vedere i neuroni o le cellule che si muovono collettivamente nell'embrione). Levi-Montalcini, invece, attraverso lo studio a momenti successivi – e avendo evidentemente anche delle capacità visive molto spiccate – riusciva a cogliere l'integrazione di questi movimenti³. Questo aspetto temporale è molto importante, poiché nel campionamento limitato ad un solo giorno, Hamburger aveva mancato un tempo dove succedevano delle cose importanti.

3. Il «messaggio nella bottiglia» e la lettera di Victor Hamburger a Giuseppe Levi

I risultati di questi esperimenti vengono pubblicati in due articoli a firma congiunta: un primo nel 1942⁵ e un altro nel 1943⁶, quest'ultimo appare nei rendiconti dell'Accademia Pontificia e inizia con un affascinante *summarium* in latino: «Extirpato, ex pulli gallinaei fetu, tertio incubationis die, cruris nondum nervati primordio, Auctores scrutati sunt quomodo se habeat relativa spinalis medullae nervea regio, quamdiu fetus habeatur [...]».

Essenzialmente loro concludono che il punto non era la mancanza di un segnale induttivo proliferativo, ma una morte di neuroni che non erano sopravvissuti. L'articolo si conclude così:

l'ipotesi che lo sviluppo dei centri sia regolato dal campo periferico non risulta adunque confermata. Riteniamo invece che l'impulso alla differenziazione procede normalmente nei centri destinati all'innervazione

⁴ «The developing nervous system of the chick embryo is the stage of the most extensive, elaborate and complex cell movements [...] neuroblasts in the thousands engage in most sectors of the neural tube in long migrations which last for 2-3 days. To the student who is still not familiar [...], these complex migratory movements appear hopelessly complicated and chaotic. It is only the hour after hour inspection of the developing neural tube and higher brain centres in transversal, frontal and sagittal sections which persuade the observer that these movements are not at all chaotic but on the contrary are highly organized and rigidly patterned like complicated military maneuvers displacing hundreds of moving units along different routes, under the control of the central headquarters. Like soldiers, or like armies of ants or termites, the neuroblasts move in compact rows one after the other in long trails where each cell follows the other». Da R. Levi-Montalcini, in *Migratory movements in the Central Nervous System*, 1964.

⁵ R. Levi-Montalcini et G. Levi, *Les conséquences de la destruction d'un territoire d'innervation périphérique sur le développement des centres nerveux correspondants dans l'embryon de Poulet*, in «Arch. biol.», LIII, 1942, pp. 537-545.

⁶ G. Levi e R. Levi-Montalcini, *Correlazioni nello sviluppo tra varie parti del sistema nervoso*, in «Pontificia academia scientiarum. Commentationes», 8, 1943, 19, pp. 527-568.

dell'arto assente, ma che la regressione dei neuroni già differenziati dipende dall'impossibilità da parte di questi di contrarre connessioni normali cogli elementi del tegumento e dei muscoli.

Quindi Levi e Levi-Montalcini vanno dritti contro le conclusioni di Hamburger, una autorità dell'embriologia del tempo – allievo di Hans Spemann e vincitore del Premio Nobel nel 1935 – e scardinano la scuola dominante dell'epoca con questa prima evidenza di una morte neuronale, della morte di neuroni già differenziati. C'è sempre un controllo della periferia sull'innervazione, ma questo segnale è un segnale di sopravvivenza e non è un segnale induttivo; sembrerebbe una distinzione capziosa ma divide proprio il tipo di spiegazione su due campi molto differenti. Si tenga presente che la ricerca della identità molecolare dei fattori responsabili per l'induzione neurale ha tenuto impegnati i biologi dello sviluppo per decenni, fino agli anni Novanta, quando è stato descritto il cosiddetto *default model* dell'induzione neurale. Ma questa è un'altra storia.

È qui il seme dell'ipotesi neurotrofica, che ha guidato la ricerca successiva che ha portato alla scoperta del NGF. Secondo l'ipotesi neurotrofica, il fattore rilasciato dal bersaglio non sarebbe un fattore induttivo, ma un fattore di sopravvivenza di neuroni già specificati e differenziati.

Ad Hamburger l'idea appariva semplicemente eretica, mentre la Levi Montalcini aveva la mente libera, non ingombrata dallo schema mentale dell'induzione neurale (potremmo da embriologo sperimentale) e poteva quindi immaginare una spiegazione basata sulla perdita di neuroni già differenziati durante lo sviluppo. Come conciliare questa discussione scientifica?

Gli articoli di Giuseppe Levi e di Rita Levi-Montalcini scritti in tempi di guerra possono essere considerati come come il messaggio di un naufrago infilato in una bottiglia e lanciato nell'oceano. Incredibilmente, il messaggio non è stato solo raccolto, ma raccolto dalla persona giusta, ovvero Viktor Hamburger, che legge gli articoli e scrive a Giuseppe Levi.

Nell'*Elogio della imperfezione* Rita ricorda che «nella primavera del 1946 Levi mi dà la notizia che gli ha scritto Hamburger», ma non ha mai scritto né pubblicato ulteriori dettagli di quella lettera. Proprio Rita ha consegnato a chi scrive una fotocopia di questa lettera di Hamburger a Giuseppe Levi (speriamo si possa trovare anche l'originale), datata 8 luglio 1946 e scritta in tedesco dalla Washington University (Figg. 3 e 4). Seguono alcuni passaggi tradotti di questa lettera, che non è mai stata descritta prima.

Egregio Professor Levi, sono venuto a conoscenza tramite il dottor Weiss e il dott Harrison del fatto che lei ha superato negli anni scorsi durante la guerra eventi dolorosi e vorrei esprimere la mia più grande gioia per il fatto che lei abbia potuto continuare il suo lavoro nonostante tutte

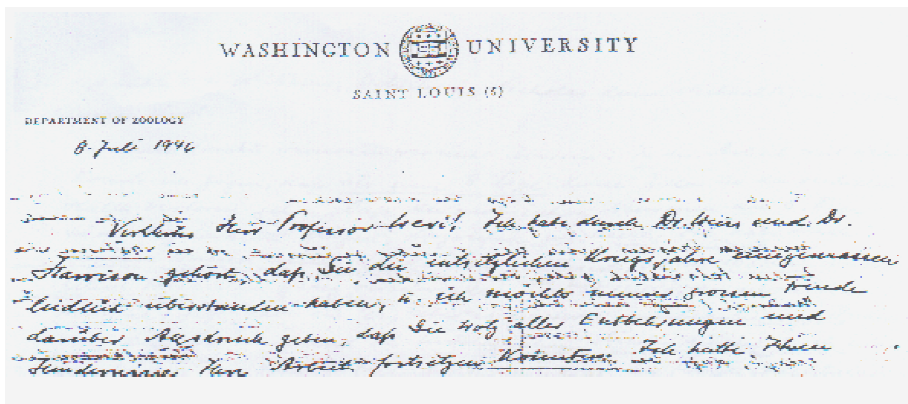


Fig. 3. Incipit della lettera di Viktor Hamburger a Giuseppe Levi datata 8 luglio 1946 e scritta dalla Washington University. (Da fotocopia).

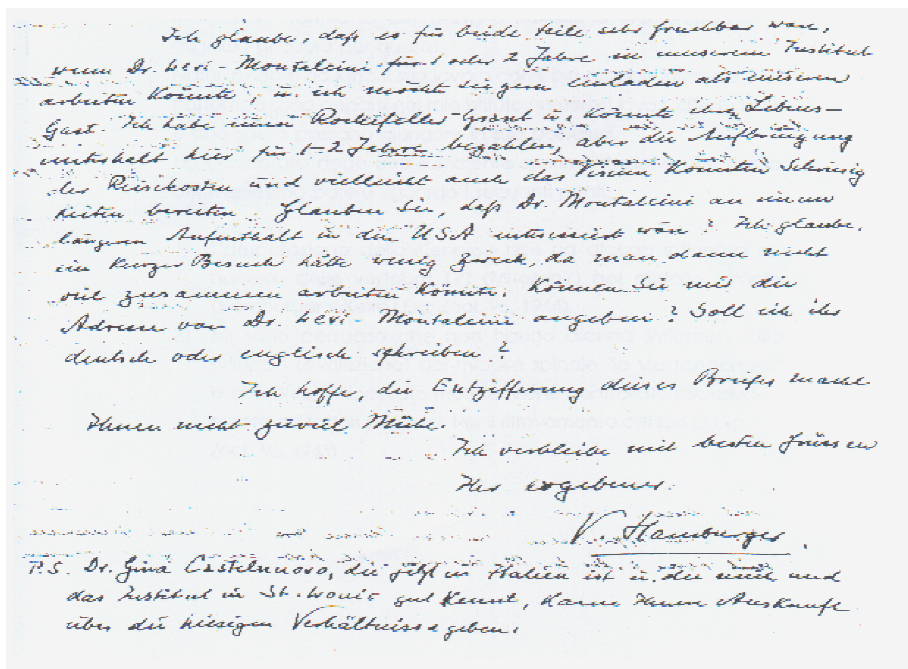


Fig. 4. Conclusione della lettera. (Da fotocopia.)

le difficoltà e le privazioni incontrate. L'anno scorso le avevo scritto una lettera [l'anno scorso, era nel 1945, a guerra appena finita evidentemente], le avevo inviato anche una raccomandata speciale a Firenze [una seconda lettera] ad un indirizzo che mi aveva dato il signor Luria [quindi si era peritato di andare a chiedere a Luria se avesse modo di contattare Levi] e entrambe le lettere sono ritornate al mittente come destinatario irreperibile [Hamburger scrive quindi una terza volta, chiedendo aiuto all'Ambasciata italiana a Washington, che ringrazia nella lettera. La lettera finalmente arriva].

Segue nella lettera una dettagliata disamina e confutazione delle conclusioni di Levi-Montalcini e Levi: «ci sono molti punti su cui io concordo con voi...» e li elenca, ma poi scrive «c'è però un punto su cui non concordo». Questa parte scientifica meriterebbe uno studio approfondito, però non è qui la sede opportuna.

Indipendentemente dal fatto che le sue argomentazioni siano stringenti o meno, è chiaro che Hamburger vuole prendere contatto per dirimere la questione, c'è una discussione scientifica in atto su una questione centrale dell'embriologia, e probabilmente intuisce anche che potrebbe non aver ragione. Hamburger propone dunque al Prof. Levi di invitare Rita Levi-Montalcini, la lettera prosegue con l'invito: «io credo che per entrambe le parti sarebbe molto fruttuoso se la dott.ssa Levi-Montalcini potesse lavorare per 1 o 2 anni nel nostro Istituto». Hamburger prosegue:

la invito molto volentieri come nostra ospite. Io ho un Rockefeller Grant e potrei pagare per un anno o due il suo sostentamento, ma il costo del viaggio e forse il visto potrebbero presentare difficoltà. Crede che la dott.ssa Montalcini sarebbe interessata a un lungo soggiorno negli Stati Uniti? [L'invito è per 1 o 2 anni] Credo che una breve visita non avrebbe alcuna utilità perché non si potrebbe lavorare molto insieme.

Hamburger aveva intuito che dietro a quei lavori c'era non solo la solidità e la reputazione della scuola di Levi, ma anche la forza delle idee e delle qualità sperimentali della sua allieva Levi-Montalcini:

potrebbe fornirmi l'indirizzo della Dottoressa Levi-Montalcini? Le devo scrivere in tedesco o in inglese? Spero che la decifrazione di questa lettera non costi troppa fatica. Porgo migliori saluti.

Suo V. Hamburger.

PS. La dott.ssa Gina Castelnuevo, che è già in Italia e che conosce già bene me e l'Istituto a Saint Louis, può darle informazioni sulle attuali relazioni.

A seguito di questo invito, come è noto, nel 1947 Rita parte per Saint Louis. Nel 1949 pubblica con Hamburger i risultati dei loro esperimenti congiunti, pianificati per risolvere la questione⁷.

In questo articolo Hamburger e Levi-Montalcini, sulla base dei loro nuovi esperimenti, giungono ad una conclusione che dava ragione a Levi e Levi-Montalcini; in un articolo scritto nel 1995, Hamburger scrive:

quando si facevano questi esperimenti si potevano studiare sia il sistema motorio che il sistema sensoriale [noi oggi sappiamo che i motoneuroni non dipendono da NGF, i neuroni sensoriali invece sì].

We agreed to repeat the limb bud experiment once more, and in the first step, to pay special attention to the finest details in the response of the sensory ganglia. Fortunately we chose her preference, if my preference of the motor columns, which are more homogeneous than the ganglia, had prevailed, NGF would not have been discovered in my laboratory.

Rita, col suo fiuto da cane da tartufi, convince Hamburger a guardare con maggiore attenzione in questi esperimenti i neuroni sensoriali, lei «fiutava» ciò perché nei suoi esperimenti precedenti – quelli del '42-'43 – aveva trovato un effetto molto più grande sui neuroni sensoriali. Nel 1995 Hamburger scriverà della sua ipotesi, così tenacemente difesa nella sua lettera a Levi:

the hypothesis turned out to be essentially wrong [...] Rita had done the same limb extirpation experiments in Italy during the war. She had obtained the same results but her interpretation was different and, as usual, the correct one [...]. I invited her to St Louis and we settled the argument.

Nel 1951 cominciano esperimenti, suggeriti da Hamburger, in cui invece di cambiare gli arti in più o in meno, viene innestato nell'embrione un tumore (sarcoma 180), quindi un tessuto totalmente ectopico⁸. La loro idea è quella di cambiare il target fisiologico e decidono così di aggiungere un target di innervazione non fisiologico, ma ectopico.

È l'inizio di una nuova storia, quella che poi ha portato alla scoperta del NGF, ed è stata raccontata spesso. Il tumore trapiantato negli embrioni di

⁷ V. Hamburger and R. Levi-Montalcini, *Proliferation, differentiation and degeneration on the spinal ganglia of the chick embryo under normal and experimental condition*, in «J. Exp. Zool.», 1949 Aug., 111, pp. 457-501.

⁸ R. Levi-Montalcini and V. Hamburger, *Selective Growth Stimulating Effects of Mouse Sarcoma on the Sensory and Sympathetic Nervous System of the Chick Embryo*, in «J. Exp. Zool.», 1951, 116, pp. 321-361.

pollo secerne infatti questo fattore: l'embrione iniettato col tumore attrae le fibre nervose simpatiche e sensoriali.

Sono quegli anni in cui Rita scrive alla mamma e alla sorella che al Congresso di Chicago, dove c'era il Gotha della biologia dello sviluppo dell'epoca e dove lei era l'unica donna, il *chairman* si rivolgeva a lei e all'uditorio dicendo «Lady and Gentlemen».

Rita scalpita, capisce che ha bisogno di un saggio in coltura e quindi si mette in contatto con Hertha Meyer a Rio de Janeiro (anche lei emigrata per motivi razziali, e anche lei un importante tassello della scuola di Levi), che aveva introdotto e sviluppato il metodo della coltura di gangli sensoriali nel laboratorio di Levi. L'idea di andare a visitare la sua amica e collega a Rio de Janeiro l'allettava molto, così nel 1952 partì portando il tumore trapiantato nei topolini, non prima di aver richiesto tutti i permessi alle autorità aeroportuali. I permessi però dopo mesi tardavano ad arrivare e così – è storia nota – Rita prese i topolini e li mise nella borsetta.

Rita e Hertha Meyer sperimentano l'effetto del sarcoma 180 sui gangli nervosi in coltura e gli esperimenti dimostrano un grande successo: in meno di 24 ore osservano che il tumore, messo a contatto con il ganglio nervoso, determina una massiccia crescita di fibre nervose. È questo il famoso ed iconico «alone NGF», che viene menzionato per la prima volta nella lettera del 15 dicembre 1952 (Figg. 5-6). Sono settimane di grandi entusiasmi, ma anche di dubbi ed ansie, mirabilmente espresse nelle lettere alla famiglia (pubblicate nel già citato *Cantico di una Vita*), così come in quelle ad Hamburger, a cui scrive ben undici lettere in tre mesi, in cui gli comunica i risultati degli esperimenti. Il 16 novembre del 1952 Rita scrive alla famiglia di essere

incantata dalla bellezza degli aloni e non mi stanco di ripetere questo esperimento. Ho interpretato questo reperto come è indicativo di un effetto neurotrofico e neuropatico [...]. La gioia dei risultati ottenuti è tuttavia turbata da un dubbio. Qual è la prova che questo effetto in vitro sia lo stesso di quello provocato da innesti di S180 o S37 nell'embrione di pollo?

Il dubbio è alla base del metodo scientifico, ma è comunque un fatto che il *bioassay* messo a punto dalla Levi-Montalcini a Rio de Janeiro⁹ sia stato essenziale, nei pochi anni successivi, per la successiva purificazione¹⁰ e ca-

⁹ R. Levi-Montalcini, H. Meyer and V. Hamburger, *In vitro experiments on the effects of mouse sarcomas 180 and 37 on the spinal and sympathetic ganglia of the chick embryo*, in «Cancer Research», 954, 14, pp. 49-57.

¹⁰ R. Levi-Montalcini and S. Cohen, *In vitro and in vivo effects of a nerve growth stimulating agent isolated from snake venom*, in «Proc. Natl. Acad. Sci USA», 42, 1956, pp. 695-699.

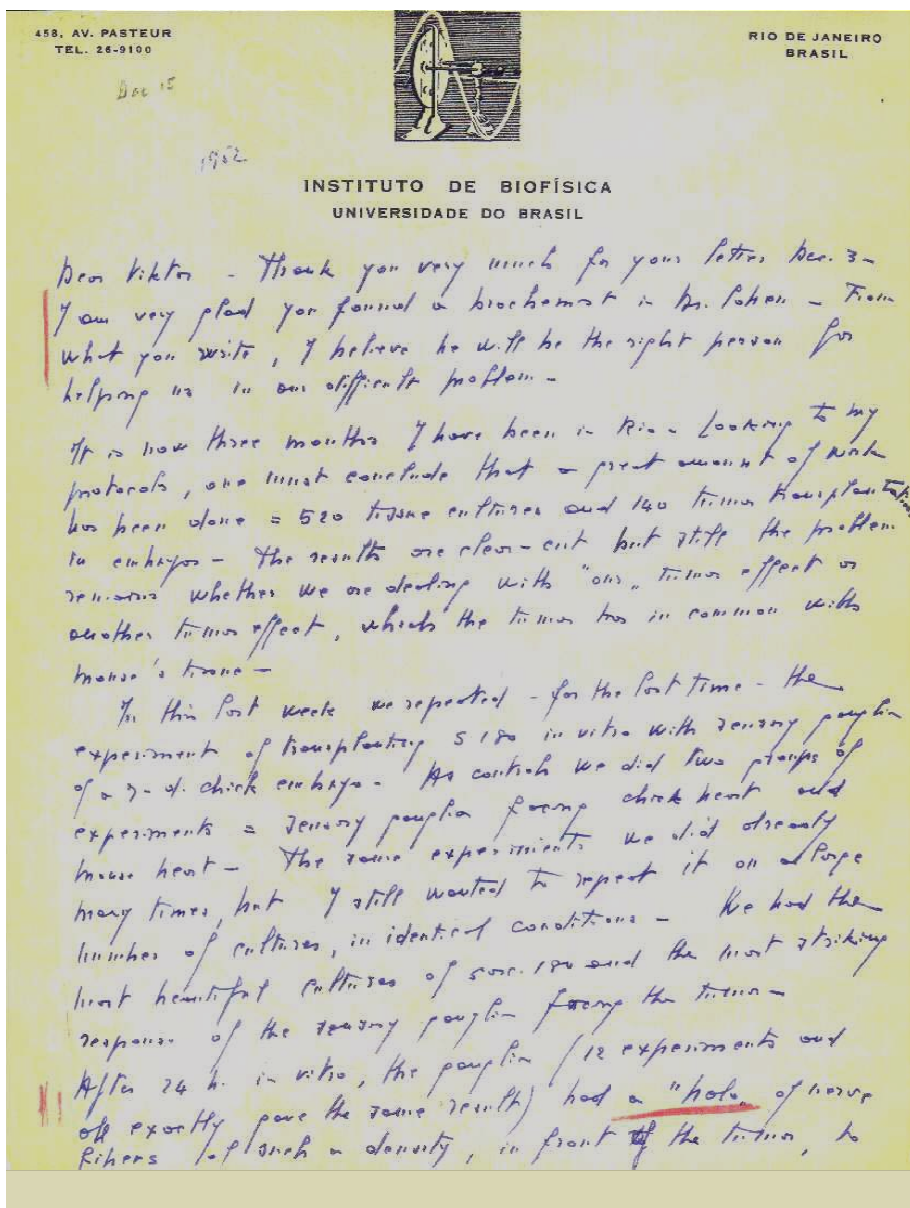


Fig. 5. Incipit della lettera di Rita Levi-Montalcini a Viktor Hamburger (Rio de Janeiro, 15 dicembre 1952) dove si menziona per la prima volta l'alone NGF («a halo of nerve fibers»). Nella lettera è citato anche il reclutamento di Stanley Cohen («I am very glad you found a biochemist in Dr Cohen. From what you write, I believe he will be the right person for helping us in our difficult problem»). (Da fotocopia, sottolineata da Rita).

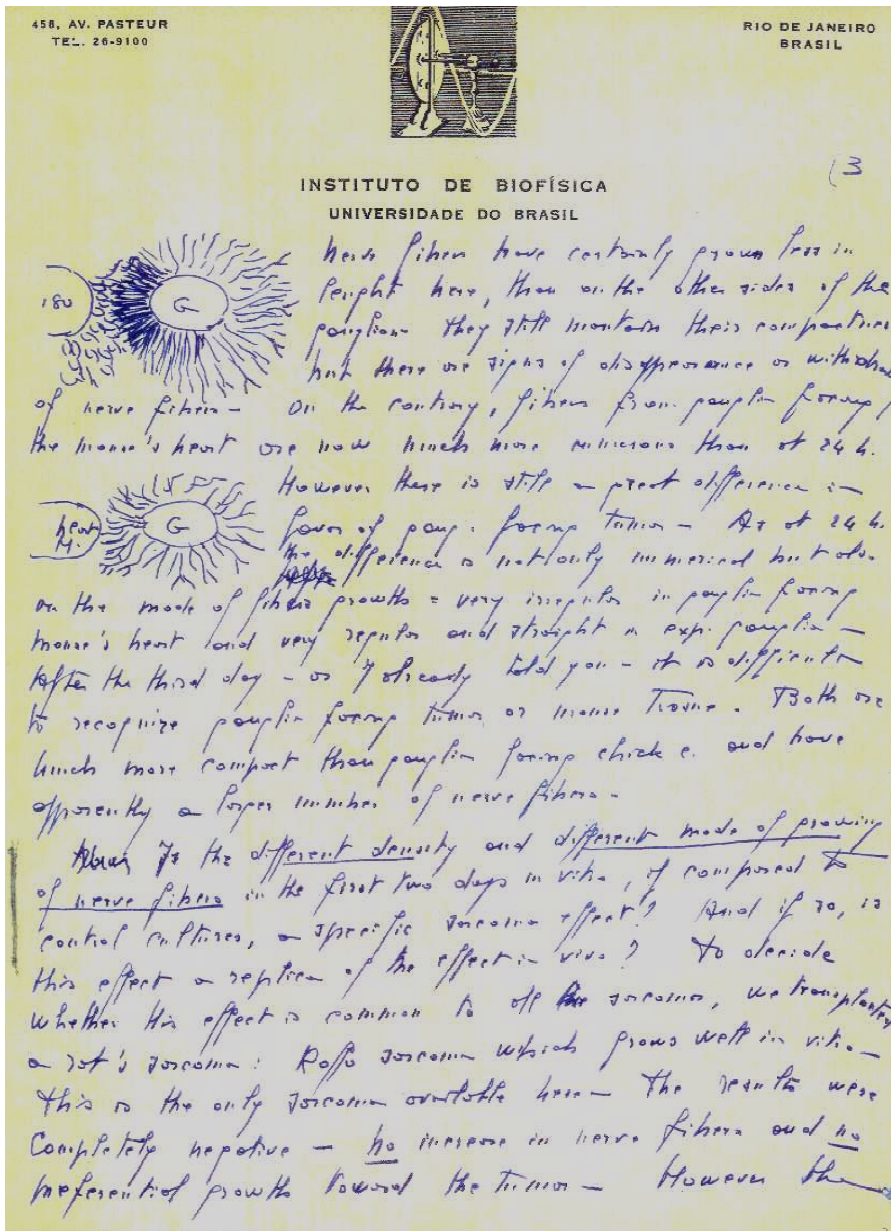


Fig. 6. Pagina della lettera con lo schizzo dell'alone NGF. (Da fotocopia).

ratterizzazione della proteina *Nerve Growth Factor* da parte di Stanley Cohen (il cui reclutamento viene commentato nella lettera in fig. 5), fino a culminare nella dimostrazione formale del suo ruolo fisiologico in vivo, con l'esperimento della immunosimpatectomia¹¹.

Nel 1980 Rita si vedrà recapitare un plico inviatole da Hamburger, con tutte le lettere scritte e spedite da Rio de Janeiro (dei veri e propri *Progress report* di laboratorio):

Dear Rita,

I forward all your letters from Rio. I just read them again. They are most interesting historical documents, in retrospect, and they show scientifically how real research [...] – ups and downs – [...] despair and triumph. I found also the first use of the word «halo». The most intriguing letter is the one Dec. 15 with your sketches [...]. In a way I am sad to part with these letters, but they are more important for you, and they would probably get lost when I am not around [...].

*Love, also to Paola
Yours Viktor*

Queste lettere da Rio de Janeiro forniscono una testimonianza importante per la storia delle neuroscienze, ed anche per alcune riflessioni sul metodo scientifico, che varrà la pena di approfondire.

Così si conclude la saga del *Nerve Growth Factor*, iniziata con una giovane Rita che legge, durante una gita estiva in tempo di guerra, un articolo di Viktor Hamburger che Giuseppe Levi le aveva dato da studiare.

¹¹ R. Levi-Montalcini and B. Booker, *Destruction of the sympathetic ganglia in mammals by an antiserum to a nerve growth protein*, in «Proc. Natl. Acad. Sci USA», 46, 1960, pp. 384-391.

Salvador Luria e la scuola nordamericana di Giuseppe Levi

ANDREA GRIGNOLIO*

Un amico che non vedevo da molti anni mi ha chiesto a Lake Placid come si spiega il miracolo che Luria, Renato ed io siamo usciti da una scuola praticamente sconosciuta come quella di Torino. Luria gli ha detto che lo si deve a Giuseppe Levi e questo – almeno in parte – è vero.

R. Levi Montalcini, *Cantico di una vita*

Quando incontra Salvatore Luria (1912-1991), studente al secondo anno in Medicina e Chirurgia, Giuseppe Levi è un Professore Ordinario di Anatomia Normale Umana di cinquantotto anni con alle spalle una brillante e compiuta carriera. Dei quattordici ambiti di ricerca riportati nel curriculum, ben tredici erano stati affrontati da Levi prima dell'arrivo di Luria nel 1930 e di Renato Dulbecco e Rita Levi Montalcini nel 1931¹. Come è noto, i tre allievi che hanno ricevuto il Premio Nobel – Luria per la ricerca sulla genetica batterica (1969), Dulbecco per i virus oncogenici (1975) e Rita Levi Montalcini per la scoperta del fattore di crescita nervosa (1986) –, sono un caso unico nella storia della scienza, soprattutto considerando i diversi percorsi disciplinari che essi hanno intrapreso negli Stati Uniti dopo il tirocinio nel laboratorio di Levi.

Com'era sua abitudine, Levi assegnò ai tre allievi «un tavolo nella stanza degli interni ancora alle prime armi» per farli esercitare su un preciso compito di istologia scelto da «un quaderno d'appunti» che conteneva una lista dei problemi biologici affrontati nella propria carriera². Dall'ingresso nell'Istituto sino

Il presente articolo riprende parti di alcuni testi dell'autore editi tra il 2013 e il 2019.

* Storia della medicina e Bioetica, Università Vita-Salute San Raffaele di Milano; Centro Interdipartimentale per l'Etica e l'Integrità nella Ricerca del CNR; e-mail: grignolio.andrea@hsr.it.

¹ G. Levi, *Curriculum Vitae*, Archivio Storico dell'Università di Torino, Fascicolo personale, Università di Torino.

² S. Luria, *Storia di geni e di me*, Boringhieri, Torino 1984, pp. 26-27; R. Levi Montalcini, *Elogio dell'imperfezione*, Garzanti, Milano 2000 (1987¹), p. 78. L'importanza di avere, già al secondo anno di corso, «un tavolo da esperimento», è rimarcata anche da R. Dulbecco in *Scienza, vita e avventura*, Sperling & Kupfer, Milano 1989, pp. 46-48; S. Cohen, *Interview with*

agli anni della specializzazione, i tre allievi si eserciteranno su differenti aspetti delle ricerche del laboratorio spaziando dall'istologia, alla microanatomia e all'embriologia, scandagliando un articolato ma omogeneo campo d'interesse biologico che Levi aveva centrato sull'analisi morfologico-quantitativa di tessuti e cellule animali (perlopiù nervose e muscolari), al fine di svelarne il significato funzionale e il comportamento nelle varie fasi dell'accrescimento, sviluppo e senescenza.

Il percorso formativo dei tre allievi nel laboratorio di Levi è stato interrotto dall'emigrazione verso gli Stati Uniti: Luria nel 1938³, Dulbecco e Montalcini nel 1947. Quasi dieci anni, dunque, dividono le due migrazioni, un periodo nel quale Luria, vedremo, giocherà un ruolo decisivo. I tre allievi, con qualche eccezione per Levi Montalcini, decideranno infatti di abbandonare l'istologia e l'anatomia microscopica in favore di ricerche in ambito genetico-molecolare. Sarà Luria il primo a compiere questa virata disciplinare e metodologica, tracciando un percorso professionale che ispirerà e spianerà la strada agli altri due compagni di studio. È quindi da Luria che occorre partire per disegnare la parabola che portò i tre allievi di Levi dalla formazione torinese alla «diaspora» americana.

1. L'internato torinese di Luria

Nei primi due anni d'internato (1932-34) Luria intraprende varie ricerche sulla struttura e trasformazione del tessuto muscolare striato umano nelle fasi dell'accrescimento embrionale e della senescenza⁴, in collaborazione con Luigi Bucciante (1902-1994), dal 1931 aiuto dell'Istituto di Anatomia Normale Umana, nonché borsista della Fondazione Rockefeller⁵. Nonostante

Renato Dulbecco, California Institute of Technology Oral History Project, Pasadena (Calif.), Caltech Archives 2001, p. 10.

³ Come verrà specificato meglio oltre, Luria, in realtà, nel 1938 emigra in Francia per sfuggire alle restrizioni delle leggi razziali introdotte dal fascismo e solo nel settembre del 1940 giunge negli USA.

⁴ L. Bucciante, S. Luria, *Lo stroma dei muscoli volontari dell'uomo in rapporto all'età*, *Comunicazione alla IV riunione della Società Italiana di Anatomia*, in «Monit. Zool.», suppl., 1932; Id., *Lo stroma elastico dei muscoli volontari nelle varie età*, in «Boll. Soc. Biol. Sper.», 1932, 7, p. 535; Id., *Reperto di fibre muscolari a miofibrille attorte ed anulari nei muscoli oculari dell'uomo in rapporto all'età*, in «Boll. Soc. Biol. Sper.», 1933, 8 (3), pp. 1-3; Id., *Sulla struttura di alcuni muscoli volontari dell'uomo nelle varie età*, in «Mon. Zool. Ital.», 1933, 43, pp. 141-144.

⁵ F. Traniello (a cura di), *L'Università di Torino. Profilo storico e istituzionale*, Pluriverso, Torino 1993, p. 104; *Curriculum Vitae e Pubblicazioni Scientifiche di Luigi Bucciante*, Archivio Storico dell'Istituto di Anatomia Umana Normale, 4 pp.

in quegli stessi anni Bucciante svolgesse nell'Istituto di Levi ricerche per conto della Rockefeller sugli effetti dei raggi alfa sulle cellule *in vitro*, non saranno tali esperimenti a iniziare il giovane Luria alla radiobiologia; di essi, infatti, non rimarrà alcuna traccia negli articoli o nella autobiografia del Premio Nobel⁶. La ragione, forse, è da rintracciare nel fatto che nel biennio 1932-34 questo tipo di esperimenti sulle cellule *in vitro* erano ancora svincolati da un inquadramento genetico, non riuscendo dunque a rivelare una relazione con la radiogenetica, disciplina che Luria raggiungerà alcuni anni dopo attraverso la radiologia medica. Tuttavia, a partire dalla fine del 1934, «acquisendo una notevole esperienza nella tecnica istologica»⁷, Luria inizia a trovare un proprio percorso sperimentale, lavorando individualmente su due linee di ricerca: una intesa a isolare *in vivo* i mitocondri nei neuroni sensitivi e simpatici, grazie alla loro sensibilità ai colori vitali (elettronegativi); e una centrata sulla correlazione fra accrescimento delle cellule somatiche e nervose, nella quale dimostra che nei ratti nei quali è stato artificialmente arrestato lo sviluppo (tramite riduzione dell'alimentazione) diminuisce anche la grandezza media dei gangli spinali. Entrambe, come accennato, erano state oggetto di precedenti studi di Levi⁸. In particolare, la correlazione tra neuroni e soma, che stabiliva che per neuroni omologhi di animali di mole somatica diversa (della stessa o di specie differenti) la grandezza cellulare è maggiore nei più grossi ed è proporzionale all'ampiezza del territorio di innervazione, era stata uno dei primi successi professionali dell'istologo torinese che la comunità scientifica riconobbe attribuendole il nome di «legge di Levi». È proprio su questo tema che,

⁶ L. Bucciante, A. Foà, *Effetti dell'irradiazione con raggi alfa di emanazione di radio sopra cellule di varia natura coltivate in vitro*, in «Atti Soc. It. Anat. Monit. Zool. Ital.», suppl. vol. 44, 1933, pp. 58-60.

⁷ *Salvador Luria Papers* (d'ora in poi SLP), Personal materials, Box 41: Giuseppe Levi, 17 marzo 1938, Università degli Studi di Torino.

⁸ Le ricerche dedicate al mitocondrio occupano una delle quattordici linee di ricerca riportate sul *Curriculum Vitae* di Giuseppe Levi, cfr. anche G. Levi, *Sulla presunta partecipazione dei condriosomi alla differenziazione cellulare*, in «Arch. Ital. Anat. Embr.», X, 1911, pp. 168-195; Id., *Il comportamento dei condriosomi durante i più precoci periodi dello sviluppo dei mammiferi*, in «Arch. Zell.», XIII, 1915, pp. 471-524. Al primo decennio del Novecento, risalgono invece gli studi sui rapporti tra il numero e la grandezza delle cellule negli animali di mole differente. Levi iniziò con la comparazione delle cellule nervose di diverse specie di invertebrati scoprendo l'esistenza di un apparato «fenestrato» nei neuroni dei gangli sensitivi e giunse alla cosiddetta legge di Levi, secondo cui l'ampiezza del territorio d'innervazione e la dimensione dei neuroni è proporzionale alla dimensione corporea, come risultava dalla comparazione di settanta esemplari di cinquantasei specie differenti (G. Levi, *I gangli cerebrospinali. Studi di istologia comparata e di istogenesi*, in «Archivio italiano di anatomia e embriologia», 7, 1908, pp. 1-392).

dopo aver compiuto ulteriori ricerche di fisiopatologia generale e neurologica⁹, il 17 luglio del 1935 Luria discuterà la tesi di laurea *Ricerche sperimentali sulla correlazione fra accrescimento del soma e accrescimento delle cellule nervose*, che gli valse la dignità di stampa e l'assegnazione del Premio Lepetit (fig. 1)¹⁰. Da questo momento in poi, sappiamo dall'autobiografia, Luria inizia a maturare un distacco dall'istologia, disciplina che, in realtà, lo aveva tiepidamente coinvolto anche nei primi anni d'università ma che aveva continuato a coltivare per «caparbieta» e per la stima che nutriva verso il maestro¹¹. Pur non appassionandosi alla disciplina, dunque, Luria nei sei anni di internato (1930-1936) acquisisce da Levi un'importante lezione di metodo che gli fornirà le conoscenze necessarie per «impostare seriamente un esperimento e portarlo a conclusione». Ecco il tributo al maestro nelle parole di Luria:

Ciò che imparai da Levi, e di cui feci buon uso in seguito, fu un atteggiamento di rigorosa professionalità, vale a dire imparai come impostare seriamente un esperimento e portarlo a conclusione. Appresi l'importanza di comunicare i risultati: il maestro soleva dire che, non appena una serie di dati apparisse significativa, bisognava pubblicarne il resoconto. E quando il manoscritto era pronto, Levi lo riscriveva da cima a fondo, senza pietà. Un'altra lezione che imparai [...] è quella di non mettere mai il mio nome sulla pubblicazioni dei miei allievi, a meno di non aver contribuito direttamente e sostanzialmente al loro lavoro. La personalità del maestro era tale da incutere rispetto e da rendere operante il suo insegnamento. L'integrità, i modi burberi, le distrazioni, la professione di antifascismo, ne facevano una figura quasi leggendaria negli ambienti universitari¹².

⁹ Come riportato nel «Verbale dell'esame di laurea in Medicina e chirurgia di Salvatore Luria» (Università degli Studi di Torino, Archivio Storico), l'argomento affrontato per la prima sotto-tesi giungeva alle conclusioni secondo cui «L'affezione gottale è fondamentalmente caratterizzata dal punto di vista patogenetico, da cui alterazione nel ricambio dell'acido urico»; laddove con la seconda sotto-tesi Luria affermava che «con l'alcolizzazione del ganglio di Gasser si ottiene oltre il 90% dei casi di guarigione duratura».

¹⁰ S. Luria, *Ricerche sperimentali sulla correlazione tra accrescimento del soma e accrescimento delle cellule nervose*, a.a. 1934/35, Tesi di Laurea discussa il 17 luglio 1935, 48 pp. Archivio Storico dell'Università di Torino, Fondo Tesi (d'ora in poi ASUT). Desidero ringraziare Paola Novaria, direttrice dell'Archivio Storico, per la disponibilità con cui ha seguito il recupero e la digitalizzazione della tesi di laurea di Salvador E. Luria, ora anche disponibile online <http://www.omeka.unito.it/omeka/items/show/124> (aggiornato a settembre 2020). L'accesso a quest'ultima, vincolata dai copyrights, è stato possibile solo grazie al consenso scritto del figlio (Dan) e della moglie (Zella Hurwitz) di Luria, cui va il mio profondo riconoscimento. Cfr. anche il «Verbale dell'esame di laurea in Medicina e chirurgia di Salvatore Luria», Università degli Studi di Torino, Archivio Storico, e anche *S.E. Luria Biography*, 1972.

¹¹ S. Luria, *Storia di geni e di me*, cit.

¹² *Ibidem*, cit., p. 26.

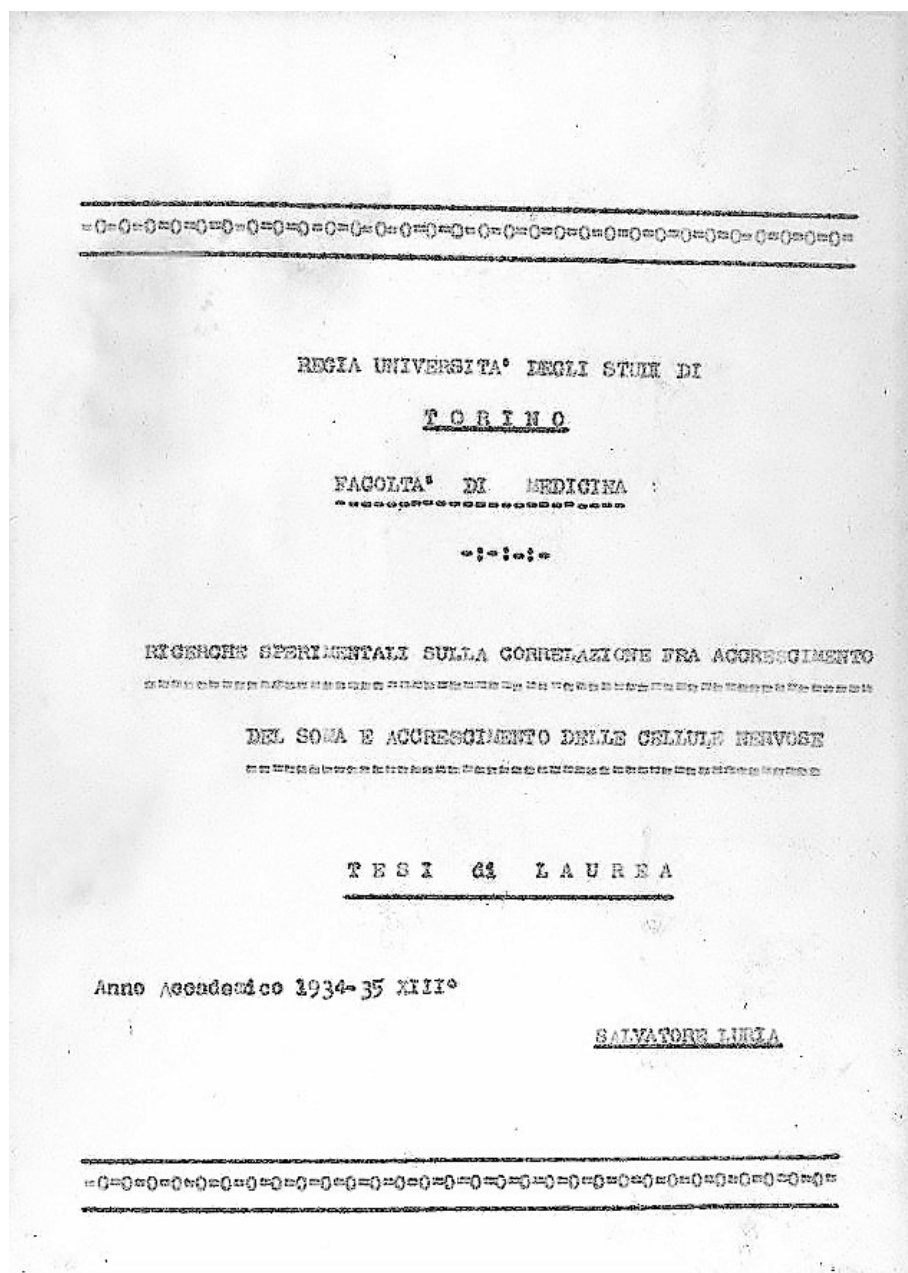


Fig. 1. S. Luria, *Ricerche sperimentali sulla correlazione tra accrescimento del soma e accrescimento delle cellule nervose*, a.a. 1934-35, Tesi di Laurea discussa il 17 luglio 1935, 48 pp. (Archivio Storico dell'Università di Torino, Fondo Tesi).

Saper impostare un esperimento e pubblicarne subito i dati, è questo dunque per Luria l'importante lascito di Levi, oltre, chiaramente, l'esempio del rigore intellettuale e morale che tutti gli allievi gli riconoscono. Ma c'è un altro tributo, taciuto dagli allievi, che va riconosciuto al maestro: un'ampia rete di rapporti familiari, accademici e con centri di ricerca internazionali che saranno di particolar aiuto agli allievi, specie per Luria e Montalcini. Quando si trasferirà a Roma per lavorare con il gruppo di Fermi, Luria sarà infatti accolto e instradato da Franco Rasetti, amico intimo della famiglia Levi, che lo introdurrà alla radiogenetica. Per connettere storie personali a percorsi accademici e disciplinari capaci di intercettare l'interesse di fondazioni filantropiche internazionali, occorre però ricostruire la storia dall'inizio, quando Luria decide di lasciare Torino.

2. Il periodo romano: tra fisica e genetica

Sulle motivazioni dell'abbandono dell'istologia, le parole di Luria sono inequivocabili:

non trovavo l'istologia particolarmente interessante. Alcuni esperimenti da me eseguiti vennero pubblicati su riviste italiane e tedesche [...] ma le mie ricerche non vertevano su problemi di importanza fondamentale [...] l'istologia non faceva per me. E neppure trovai, nel corso di laurea in medicina, ulteriori stimoli per la mia mente piena di sogni sulla fisica. Ma andavo appassionatamente maturando un piano¹³.

Il «piano» cui accenna è quello di scegliere una disciplina sospesa tra la fisica e la biologia, l'allora nascente biofisica, che inizierà a realizzarsi nell'anno e mezzo che intercorre tra la laurea e la specializzazione, un periodo nel quale le esperienze negative accumulate come assistente volontario presso la clinica chirurgica dell'Università di Torino¹⁴ e il servizio militare come ufficiale medico convincono Luria ad abbandonare ogni velleità clinica.

L'origine della passione di Luria per la fisica va cercata tra i banchi del liceo, nelle discussioni adolescenziali su Bohr, Heisenberg e Schrödinger avute con il compagno di classe Ugo Fano (1912-2001). Proveniente da una famiglia permeata di scienza, Fano e i suoi racconti di fisica teorica incarnaeranno nella mente del giovane Luria una sorta di idealizzazione della vita accademica¹⁵.

¹³ *Ibidem*, pp. 26-27.

¹⁴ Comunicazione della nomina da parte del rettore, su proposta del direttore della Clinica di chirurgia generale Ottorino Uffreduzzi, e richiesta di Salvatore Luria di un certificato comprovante la sua qualifica (7 febbraio 1936); Luria, Salvatore, Documenti, ASUT.

¹⁵ Appartenente a un'agiata famiglia di religione ebraica, figlio di un noto docente di mate-

Quando nel 1936, deciso ad abbandonare il laboratorio di Levi, Luria consulta il giovane amico in cerca di consigli professionali, Fano non ha dubbi: spiegato l'atomo e la materia, la fisica si sarebbe impegnata a spiegare la biologia. L'entusiasmo di Fano era dovuto al fatto che egli era da poco entrato a far parte del celebre gruppo romano di fisici capeggiati da Enrico Fermi, i cosiddetti «ragazzi di via Panisperna», che proprio in quegli anni erano impegnati a svelare la natura delle reazioni nucleari attraverso le radiazioni ionizzanti. Questo strumento, utilizzato dai fisici per fini perlopiù teorici, iniziò ad attrarre anche biologi e medici a partire dal 1927, quando sulla rivista «Science» apparve un articolo del biologo americano Hermann J. Muller (1890-1967) in cui per la prima volta le radiazioni venivano utilizzate in ambito genetico per aumentare il tasso di mutazione dei moscerini della frutta (*Drosophila melanogaster*) (Müller 1927) – l'animale-modello prescelto dalla scuola di genetica americana guidata da Thomas H. Morgan. Nasceva allora la radio-genetica. Dieci anni dopo e in un Paese tecnologicamente arretrato, Luria, al momento di scegliere la specializzazione all'università di Torino, scelse radiologia medica animato, oltre che dalla passione riflessa di Fano, dall'idea di approfondire tali ricerche d'avanguardia.

Decise così di iscriversi alla specializzazione in Radiologia medica presso l'Università di Torino per poi terminarla all'università di Roma: qui avrebbe potuto dedicare il tempo libero allo studio della fisica, a stretto contatto con gli allievi di Fermi. Sapute le vere intenzioni del «piano» di trasferimento da Torino a Roma, Levi respinse il progetto dell'allievo e reagì con urla di disapprovazione, accusando Luria di ignorare, come la maggior parte dei medici del tempo, i fondamenti della genetica¹⁶. I motivi che invece indussero Fermi a considerare «ragionevole» la presenza di Luria nel suo istituto sono più complessi e vanno affrontati perché gettano luce, ancora una volta, sul ruolo decisivo di Levi¹⁷. Essi infatti iniziano a svelare quella fitta serie di intrecci tra micro e macro storie, tra eventi locali e più ampi percorsi istituzionali e disciplinari, che sono alla base del successo della formazione torinese dei tre Nobel.

Fermi, soprattutto grazie al percorso formativo di alcuni suoi collaboratori come Franco Rasetti e lo stesso Fano¹⁸, era in stretto contatto con la scuola

matica dell'Università di Torino (Gino Fano, 1871-1952), Fano sarà anch'egli vittima delle discriminazioni razziali e sarà costretto all'emigrazione negli USA.

¹⁶ Sulla scarsa conoscenza della genetica negli anni della formazione torinese, cfr. S. Luria, *Storia di geni e di me*, cit., pp. 30, 74.

¹⁷ *Ibidem*, p. 28.

¹⁸ Fano nel 1939 emigra con la moglie negli USA dove si dedica per qualche anno (1940-1944) allo studio della radiobiologia svolgendo importanti esperimenti sulla drosofila con Milislav Demerec, direttore del Cold Spring Harbor Laboratory, per poi tornare allo studio della fisica atomica presso l'Università di Chicago, dove ricoprirà la cattedra che fu del suo maestro Enrico

di fisica di Copenaghen diretta da Bohr, il grande fisico che oltre a intuire la struttura dell'atomo e fondare la fisica quantistica, fu il primo a formulare, durante la conferenza *Light and Life* del 1932, l'idea di utilizzare gli strumenti e il metodo della fisica per interpretare le leggi della biologia¹⁹. Nei corsi tenuti da Bohr a Copenaghen negli anni Trenta si formò un'intera generazione di scienziati destinati a influenzare per decenni la fisica e le discipline ad essa ispirate, tra cui la biofisica. Tra questi, quelli che giocarono un ruolo chiave nelle relazioni tra Fermi e Luria furono, accanto a Rasetti, due giovani fisici tedeschi, Max Delbrück e Pascual Jordan e, seppur indirettamente, due fisici austriaci, Lise Meitner e Erwin Schrödinger.

Fermi (*ibidem*, pp. 24-26, 74; C.W. Clark, *Ugo Fano (1912-2001)*, in «Nature», 2001, 410, p. 164; M. Inokuti, *In Memoriam Ugo Fano 1912-2001*, in «Radiat. Res.», 2001, 155, pp. 753-754). Un'altra figura di spicco del gruppo di via Panisperna che a metà anni Trenta applicherà i metodi e gli strumenti della fisica alla biologia, in particolare al radio-tracciamento dei lipidi nel metabolismo umano, è Emilio Segrè (L. Fermi, *Illustrious immigrants. The intellectual migration from Europe, 1930-41*, University of Chicago Press, Chicago-London 1972).

¹⁹ Nella sua celebre conferenza del 1933, *Light and Life*, Bohr suggeriva che mentre i principi della fisica erano sufficienti per spiegare il mondo della materia, questi diventavano insufficienti davanti alla materia organica. Il mondo degli organismi viventi, secondo Bohr, doveva quindi possedere qualche «caratteristica fondamentale» (*fundamental traits*) ancora nascosta, che i nuovi strumenti della fisica quantistica erano ormai in grado di svelare. Così come per penetrare i segreti della materia inorganica la fisica aveva dovuto avvalersi di approcci «complementari» rispetto a quello deterministico – tipico della fisica classica – e ricorrere all'indeterminatezza teorizzata dalla meccanica quantistica, allo stesso modo per spiegare le oscure leggi che governano la materia organica occorre integrare il tradizionale riduzionismo fisico-chimico con un approccio basato sulla complementarità sia disciplinare (fisica e fisiologia) sia teorica (spiegazione deterministica e finalistica). L'influenza dei fisici sulla nascente biologia molecolare è stato un argomento sul quale tanto gli scienziati quanto gli storici si sono esercitati. Cfr.: V. Esanu, *La physique et la genèse de la biologie moléculaire*, in «Virol.», 1989, 40 (1), pp. 79-92; M.F. Perutz, *Physics and the Riddle of Life*, in «Nature», 1987, 326 (9), pp. 555-558; L.E. Kay, *Quanta of life: atomic physics and the reincarnation of phage*, in «Hist. phil. life sci.», 1992, 14 (1), pp. 1-21; R. Holliday, *Physics and the origins of molecular biology*, in «J Genet», 2006, 85 (2), pp. 93-97; M. Morange, *A history of molecular biology*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.) 2000, § 7; G.S. Stent, *That was the molecular biology that was*, in «Science», 1968, 160 (826), pp. 390-395; E.P. Fischer, C. Lipson, *Thinking about science: Max Delbrück and the origins of molecular biology*, Norton, New York-London 1988, pp. 78-102; G.S. Stent, *The Max Delbrück lecture. «Light and life»: Niels Bohr's legacy to contemporary biology*, in «Genome», 1989, 31 (1), pp. 11-15; N. Symonds, *Schrödinger and Delbrück: their status in biology*, in «Trends Biochem. Sci.», 1988, 13 (6), pp. 232-234; N. Roll-Hansen, *The application of complementarity to biology: from Niels Bohr to Max Delbrück*, in «Hist. Stud. Phys. Biol. Sci.», 2000, 30 Pt 2, pp. 417-442; D.J. Mckaughan, *The influence of Niels Bohr on Max Delbrück: revisiting the hopes inspired by «light and life»*, in «Isis», 2005, 96 (4), pp. 507-529; A.T. Domondon, *Bringing physics to bear on the phenomenon of life: the divergent positions of Bohr, Delbrück, and Schrödinger*, in «Stud. Hist. Philos. Biol. Biomed. Sci.», 2006, 37 (3), pp. 433-458.

Celebre per aver spiegato insieme a Otto Hahn la fissione atomica alla fine degli anni Trenta, Meitner come direttrice del Kaiser Wilhelm Institut für Chemie di Berlino ospita nel proprio laboratorio molti giovani fisici interessati alla fisica quantistica. Grazie ai finanziamenti della Rockefeller, nell'anno 1931-32 nel laboratorio di Meitner si avvicinano Franco Rasetti e Max Delbrück, i due ispiratori, vedremo, della virata biofisica di Luria. Negli ultimi mesi del 1932 Delbrück, terminata l'esperienza con Meitner, decide di votarsi alla biologia, folgorato dalla conferenza di Bohr. Il progetto di Delbrück prese avvio già nel 1933, anno in cui organizzò un piccolo gruppo di discussione sulla «natura fisica del gene» composto da una decina di scienziati. Tra gli assidui frequentatori di questi incontri vi era Nikolai Timoféeff-Ressovsky (1890-1981), un genetista russo che in quel periodo (1932-33) ospitava nel suo laboratorio, anch'esso presso il Kaiser Wilhelm, Herman Muller, il padre della radiogenetica. Durante queste discussioni informali, l'attenzione di Delbrück cadde su Timoféeff-Ressovsky (1890-1981), che aveva svolto ricerche pionieristiche sulla genetica popolazionale delle drosofile e che a Berlino, come direttore del Dipartimento di genetica del Kaiser Wilhelm, stava lavorando con Muller sulle più recenti acquisizioni delle proprietà mutageniche dei raggi X. Un'altra figura che si impose all'attenzione di Delbrück fu il fisico tedesco Karl G. Zimmer (1911-1988), anche egli impegnato al Kaiser Wilhelm, i cui lavori erano focalizzati sulla possibilità di misurare i cambiamenti fisico-chimici delle molecole sottoposte a radiazioni. Il risultato di quegli incontri fu un articolo (che diventerà noto come *Three-Man Paper* o *Green Pamphlet* per via del colore della copertina) pubblicato nel 1935 intitolato *Sulla natura delle mutazioni geniche e della struttura del gene*, in cui veniva determinata l'energia minima per ottenere una mutazione e per la prima volta – dalla riscoperta delle leggi di Mendel (1900) e dall'introduzione del termine «gene» da parte di Wilhelm Johannsen (1909) – veniva calcolata in modo rigoroso la dimensione del gene, inteso come molecola. Ne emerse un «modello quanto-meccanico» del gene (o modello del «gene come molecola»), in cui esso, inteso alla stregua di un atomo, aveva dimensioni precise e sembrava possedere diversi livelli di energia. Nonostante qualche anno dopo i contenuti dell'articolo vennero parzialmente smentiti²⁰, la teoria del gene di Delbrück ebbe un duraturo successo a partire da metà anni Quaranta. Scritto

²⁰ Nel giro di qualche anno, infatti, i risultati di tale teoria, nota come «teoria del bersaglio» o «teoria dell'urto», risultarono inattendibili: le molecole biologiche, come ipotizzato dal modello quantico, non erano caratterizzate da livelli stabili di energia, le dimensioni del gene erano scorrette, e, soprattutto, il gene risultò non più costituito da proteine ma da acidi nucleici; cfr. K.G. Zimmer, M. Delbrück, P.R. Sloan, D.B. Fogel, N.V. Timofeev-Resovskii, *Creating a physical biology: the «Three-Man Paper» and early molecular biology*, University of Chicago Press, Chicago 2011.

in un linguaggio tecnico e pubblicato su una rivista sconosciuta, l'articolo di Delbrück e colleghi ebbe tuttavia il merito di ispirare il primo *best-seller* della divulgazione scientifica del Novecento: *Cos'è la vita?* (1944), un testo nato da un ciclo di conferenze tenute dal Premio Nobel per la fisica Erwin Schrödinger (1887-1961) durante l'esilio irlandese.

Sulle importanti intuizioni contenute nel testo – immaginare del materiale ereditario come un cristallo aperiodico sostanzialmente semplice e ripetitivo (un cristallo, appunto) le cui alternanze erano però capaci di recare molte informazioni (l'alternanza irregolare, aperiodica, della 4 basi del DNA); ipotizzare che la complessità delle informazioni biologiche potesse essere veicolata come in un codice Morse dalla sequenza lineare di due semplici unità di base (il «tratto» e il «punto», laddove nel DNA vi sono le 4 unità di base, ovvero le basi azotate A, G, C, T) – si formeranno intere generazioni di scienziati, soprattutto molti dei fisici che getteranno le basi della biologia molecolare. Il modello del gene usato da Schrödinger era basato sul modello teorico di Delbrück detto della «teoria dell'urto» o «del bersaglio» (*hit-theory* o *target theory*), che offriva una spiegazione semplice ed efficace²¹.

Queste idee erano ben note a Rasetti, dato che non solo tra il 1931 e il 1932 si alternò con Delbrück nel laboratorio di Meitner, ma vi tornerà anche nell'inverno del 1933-34, nel periodo che coincide con la pubblicazione del *Three-Man Paper* di Delbrück. Rasetti rimarrà dunque in contatto con Delbrück e nel decennio successivo sarà un attento lettore dei suoi articoli di biofisica, legato a una passione per la biologia che, come noto, non tarderà a manifestarsi – molti anni dopo, deluso dagli esiti nefasti della bomba atomica, Rasetti seguirà in qualche misura le tracce dello scienziato tedesco, abbandonando la fisica per la biologia, dedicandosi alla paleontologia e alla botanica²².

²¹ Una volta colpito, il gene subiva un'eccitazione e questa causava una mutazione: se il livello d'energia raggiunto era stabile, la mutazione era irreversibile e veniva tramandata alla prole, se il livello di energia era instabile, questi tornava al suo stato energetico originario, e la mutazione svaniva in una delle generazioni successive. Cfr. D. Fleming, *Emigré Physicists and the Biological Revolution*, in D. Fleming, B. Bailyn (eds.), *The intellectual migration: Europe and America, 1930-1960*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge 1969, pp. 152-189; M. Delbrück, *A physicist's renewed look at biology: twenty years later*, in «Science», 1970, 168 (937), pp. 1312-1315; R. Holliday, *Physics and the origins of molecular biology*, in «J. Genet.», 2006, 85 (2), pp. 93-97; A.T. Domondon, *Bringing physics to bear on the phenomenon of life: the divergent positions of Bohr, Delbrück, and Schrödinger*, in «Stud. Hist. Philos. Biol. Biomed. Sci.», 2006, 37 (3), pp. 433-458.

²² V. Del Gamba, *Il ragazzo di via Panisperna: l'avventurosa vita del fisico Franco Rasetti*, Bollati Boringhieri, Torino 2007.

Quando nell'autunno del 1937 Luria decide di studiare fisica a Roma è Fano a interpellare Fermi e a ottenerne l'assenso, ma Fano non può introdurlo ai «ragazzi di via Panisperna» perché è impegnato nel laboratorio di Heisenberg a Lipsia²³. L'iniziazione alla fisica di Luria viene pertanto svolta da Edoardo Amaldi e soprattutto da Rasetti, di cui segue con entusiasmo i corsi in spettroscopia nell'ateneo romano. È in questo periodo che Rasetti introduce Luria ai lavori di Delbrück che segneranno per sempre il suo destino. Ma la presa in consegna di Luria da parte del giovane fisico, ha anche un'altra spiegazione: Rasetti infatti era «praticamente cresciuto nella famiglia [Levi]», un contatto dovuto al lungo periodo fiorentino di Giuseppe Levi, durante la formazione universitaria prima e la specializzazione poi, quando il professore forma un profondo legame amicale e professionale con il compagno di studi, e poi collega patologo, Gino Galeotti, zio materno di Rasetti²⁴ (fig. 2²⁵).

Una ulteriore ragione, indipendente da Rasetti e Levi, facilitò l'arrivo di Luria a Roma. Fu Fano, come ricorda Luria, ad ottenere l'assenso di Fermi che ritenne «ragionevole» avere nel proprio laboratorio un medico interessato alla fisica delle particelle²⁶. Tale 'ragionevolezza', niente affatto evidente, ha una storia. Fermi con ogni probabilità fece questa scelta eterodossa perché era già al corrente dei recenti e promettenti sviluppi della analisi fisica dei fenomeni genetici, di cui Luria si faceva un possibile primo interprete. Si trattava di un campo di studi a cui Fermi era stato introdotto durante un seminario tenuto a Roma, qualche tempo prima, dal fisico tedesco Pascual Jordan. Figura controversa, vicina al nazismo²⁷, fu Jordan che indusse Fano, su suggerimento dello stesso Fermi, a occuparsi di biofisica, come di fatto avvenne durante i primi anni di esilio americano presso il Cold Spring Harbour

²³ E. Amaldi, *20th century physics, essays and recollections: a selection of historical writings*, in G. Battimelli, G. Paoloni (eds.), *Edoardo Amaldi Foundation Series*, vol. III, World Scientific, River Edge (N.J.) 1998, p. 158.

²⁴ J.R. Goodstein, *Interview with Franco Rasetti*, California Institute of Technology, Oral History Project, Pasadena (Calif.) U.S.A., Caltech Archives, 2002, p. 38.

²⁵ A. Piazza, *Ritratto di Giuseppe Levi*, in *Medicina nei Secoli*, volume dedicato a Giuseppe Levi, a cura di A. Grignolio, vol. 30, n. 1, 2018, pp. 15-30, p. 18.

²⁶ S. Luria, *Storia di geni e di me*, cit., pp. 28, 74.

²⁷ R.H. Beyler, *The Scientific and Cultural Context of Pascual Jordan's Quantum Biology*, in «Isis», 1996, 87 (2), pp. 248-273; M.N. Wise, *Pascual Jordan: Quantum Mechanics, Psychology, and National Socialism*, in M. Renneberg, M. Walker (eds.), *Science, technology, and national socialism*, Cambridge University Press, Cambridge/New York 1994, pp. 224-254; S. Gieser, *The innermost kernel depth psychology and quantum physics: Wolfgang Pauli's dialogue with C.G. Jung*, Springer, Berlin Heidelberg 2005, pp. 92-102.



Fig. 2. Giuseppe Levi, sulla sinistra, insieme all'amico e collega Gino Galeotti, zio di Franco Rasetti (Archivio Famiglia Levi. Fotografia già pubblicata in A. Piazza, *Ritratto di Giuseppe Levi*, in *Medicina nei Secoli*, volume dedicato a Giuseppe Levi, a cura di A. Grignolio, vol. 30, n. 1, 2018).

in collaborazione con Milislav Demerec²⁸ – a partire dall'estate del 1941, i due compagni di liceo torinesi Luria e Fano furono i soli due esuli italiani che parteciparono allo sviluppo del Carnegie Institute's Department of Genetics del Cold Spring Harbour, che diventerà nel decennio successivo «la mecca della biologia molecolare».

La lettura degli articoli di Delbrück e di Muller sulla biofisica segnarono un bivio nella carriera di Luria, che da quel momento si decise ad abbandonare definitivamente la medicina in direzione della biofisica e della ricerca pura. L'entusiasmo per gli articoli di Delbrück non ebbe però alcuna immediata conseguenza sperimentale: le scarse conoscenze genetiche e l'elevata complessità della drosofila – il moscerino della frutta che sia Delbrück sia Muller utilizzavano nei loro lavori come organismo modello – lo convinsero

²⁸ C.W. Clark, *Ugo Fano (1912-2001)*, cit.; M. Inokuti, *In Memoriam Ugo Fano 1912-2001*, cit., pp. 753-754.

ad abbandonare un simile progetto di ricerca. La svolta avvenne grazie al puro caso, dovuto alla rottura del tram che lo portava all'università. Nella lunga attesa Luria si mise a parlare con un viso familiare, Geo Rita (1911-1994), che svolgeva ricerche in microbiologia nell'ateneo romano, il quale gli rivelò l'esistenza di un possibile nuovo e più semplice modello sperimentale: i virus batteriofagi. Di dimensioni molecolari simili a quelle ipotizzate per i geni, dotati di un elevatissimo ritmo riproduttivo e quantificabili a occhio nudo grazie al numero di macchie infettive che i gruppi di batteri aggrediti presentavano sulle trasparenti scatole di coltura, i batteriofagi si mostrarono subito uno strumento assai più agevole delle drosofile per testare le teorie biofisiche del gene avanzate da Delbrück. Nei mesi successivi, Luria avviò in collaborazione con Rita un innovativo progetto di ricerca per misurare la quantità minima di unità virali necessaria all'infezione di una colonia di batteri shighella, che consisteva nel contare ogni processo infettivo dei virus batteriofagi sulla coltura di batteri identificabile con un alone ben visibile²⁹. Fu il primo caso in cui Luria adattò in campo biofisico una misurazione usata dalla scuola dei fisici romani, le cosiddette «stime alla Fermi», ovvero un calcolo approssimativo ma affidabile che i fisici usavano per calcolare stime numeriche sulle particelle elementari e che ora Luria utilizzava per misurare i geni – assimilati, come suggeriva la teoria di Delbrück, agli atomi.

I finanziamenti della Rockefeller al laboratorio torinese, gli importanti rapporti professionali dovuti alla mediazione di Levi, lo sviluppo avviato da Delbrück della biofisica verso la biologia molecolare: l'incontro tra Luria e Rasetti rivela già alcuni degli elementi centrali che hanno saputo mettere in relazione virtuosa, talvolta casuale, quelle micro e macro storie che hanno portato al successo la scuola torinese. Una relazione, vedremo, confermata e rinforzata da Luria e dai suoi compagni negli anni dell'esilio.

3. L'esilio di Luria: il decennio dell'avanscoperta

Dopo qualche settimana di lavoro, l'infamia delle leggi razziali sancì l'interruzione degli esperimenti, i cui risultati furono dunque pubblicati in Francia³⁰, sebbene Luria riuscì fortunatamente a concludere la specializzazione

²⁹ A. Grignolio, *Geo Rita*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Istituto dell'Enciclopedia Italiana Treccani, Roma 2016, pp. 681-683.

³⁰ S. Luria, *Sur l'unité lytique du bactériophage*, in «Compt. Rend. Soc. Biol.», 1939, 130, pp. 904-907.

in radiologia presso l'ateneo romano (fig. 3)³¹. Come molti altri ebrei cui era giunta dalla Germania la lugubre notizia della «notte dei cristalli», Luria lasciò Roma per Parigi dove, grazie ai suoi esperimenti sui batteriofagi e a una lettera di presentazione di Levi e Fermi [figg. 4-5], fu accolto con una borsa di studio al laboratorio Curie presso l'Istituto del Radio per continuare a lavorare sugli effetti delle radiazioni sul fago.

Insieme a Fernand Holweck (1890-1941), un fisico esperto di radiobiologia, e al medico e biologo Eugène Wollman (1883-1943), autore di articoli pionieristici sull'importanza del fago per la ricerca biologica, Luria pubblicò congiuntamente due lavori sulla quantità di radiazioni necessaria per l'inattivazione di un singolo fago. L'idea fondamentale che elaborò individualmente in quei mesi fu quella di calcolare il numero di virus sensibili alle radiazioni utilizzando uno strumento statistico per prevedere eventi sporadici. In sostanza, Luria estese dalla fisica alla biofisica un'altra intuizione: la distribuzione di Poisson per fenomeni indipendenti rari³². Come nelle misurazioni del decadimento radioattivo, in cui la probabilità di «successo» (decadimento particellare) è estremamente bassa a fronte di un numero elevatissimo (circa 1020) di nuclei irradiati, così Luria, nel solco dell'analogia gene-atomo, utilizzò la distribuzione di Poisson per prevedere la quantità di inattivazioni (poche unità) su una colonia di circa un miliardo di virus³³. L'originalità dell'importazione venne subito riconosciuta e alcuni di questi risultati vennero pubblicati sulla celebre rivista scientifica «Nature»³⁴.

Nel giro di soli quattro anni dall'abbandono del laboratorio torinese Luria riuscì a produrre risultati importanti integrando in modo originale gli insegnamenti di due grandi maestri. Da Giuseppe Levi aveva imparato a impostare correttamente un esperimento biologico, nonché a scrivere

³¹ Id., *Le dosi profonde e le curve di isodose nella terapia Roentgen ad altissima tensione*, tesi di diploma della Scuola di perfezionamento in radiologia della Regia Università di Roma, 4 luglio 1938, SLP, cit., nota 37, Series III, *Works by Luria*, Box 43. Occorre inoltre ricordare che in quei tragici mesi del 1938 l'abominio delle leggi razziali impedì a Luria di godere di una borsa di studio del governo italiano, vinta qualche giorno prima delle restrizioni, che gli avrebbe permesso di trascorrere un anno presso l'Università di Berkeley per occuparsi di radiobiologia (Id., *Storia di geni e di me*, cit., p. 31).

³² *Ibidem*, p. 93.

³³ S. Luria, *Méthodes statistiques appliquées à l'étude du mode d'action des ultravirus*, in «Ann. Inst. Pasteur», 1940, 64, pp. 415-438.

³⁴ Id., *Action des radiations sur le Bacterium coli*, in «Compt. Rend. Acad. Sci.», 1939, 209, pp. 604-606; Id., *Recherches sur le mode d'action des radiations sur les bacteriophages*, in «Compt. Rend. Acad. Sci.», 1940, 210, pp. 639-642; Id., *Radiobiologie quantique*, in «Paris méd.», 1940, 30 (26), pp. 305-311; Id., *Effect of radiations on bacteriophage C16*, in «Nature», 1940, 3685, pp. 935-936.

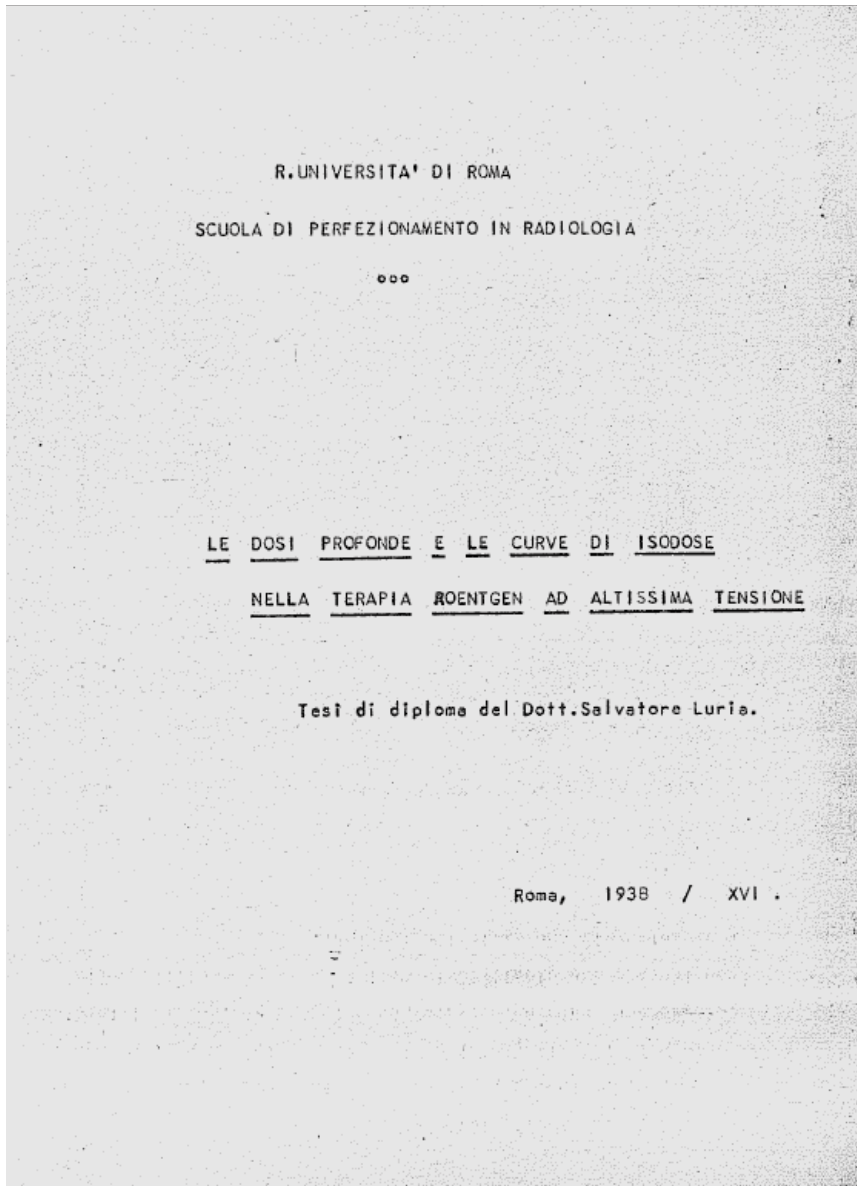


Fig. 3. Tesi di specializzazione (Roma, 1938). (S.E. Luria Papers, American Philosophical Society, Series IIb. Personal materials, Box 41, Università degli Studi di Roma, 1938).

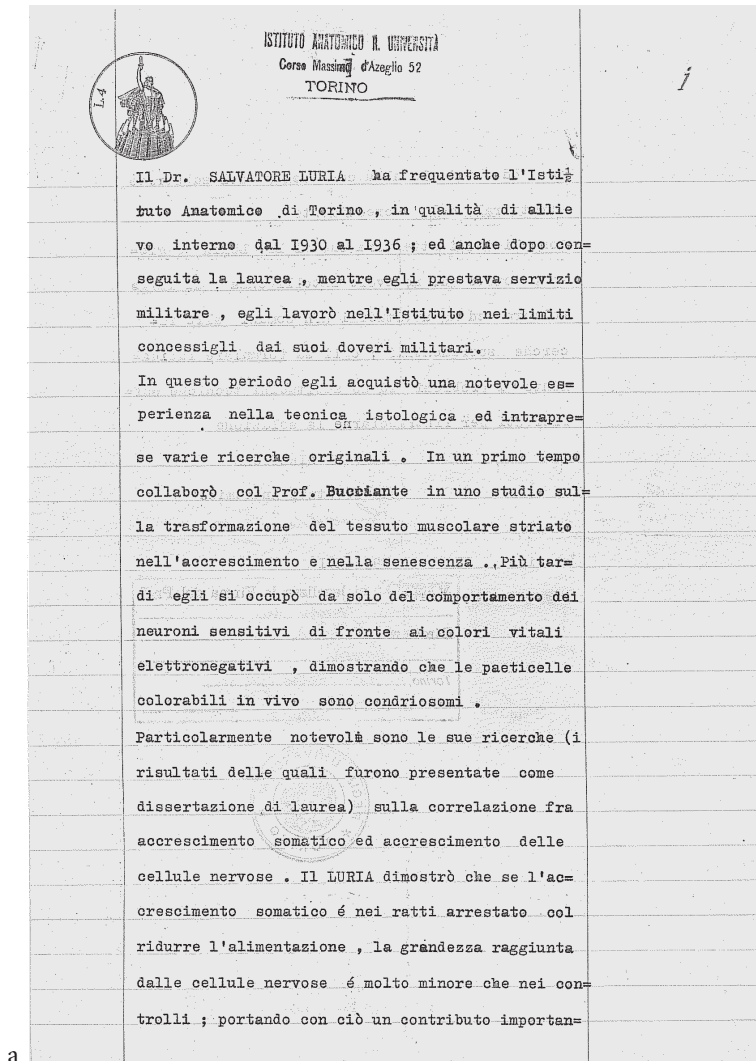


Fig. 4 a. Lettera di presentazione di Luria per Giuseppe Levi del 17 marzo 1938 (*recto*). (S.E. Luria Papers, American Philosophical Society, Series IIb. Personal materials, Box 41, Università degli Studi di Roma, 1938).

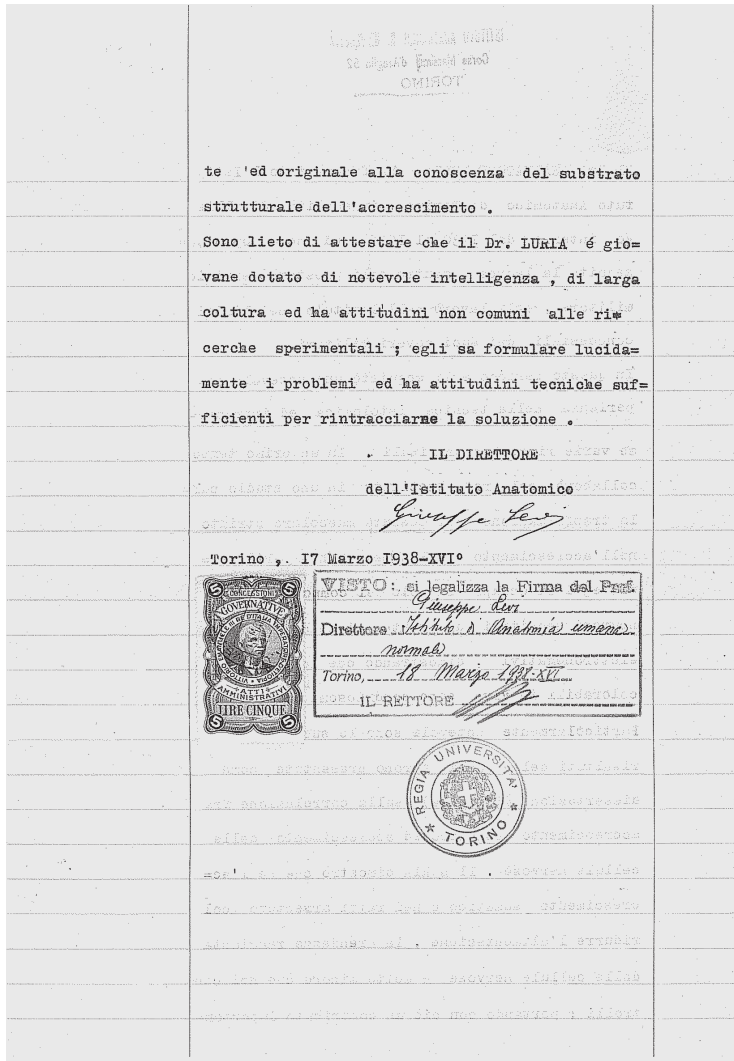


Fig. 4 b. Lettera di presentazione di Luria per Giuseppe Levi (verso). (S.E. Luria Papers, American Philosophical Society, Series IIB. Personal materials, Box 41, Università degli Studi di Roma, 1938).

R. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
ISTITUTO DI FISICA
ROMA

Roma, 25 / III / 1938 * XVI

Il dott. Salvatore Luria frequenta dal Novembre 1937 l'Istituto Fisico della R. Università di Roma, dove segue corsi di lezioni e di esercitazioni, e prende parte all'attività dell'Istituto. Ha acquistato in tale periodo buona pratica di laboratorio, collaborando anche alla costruzione di apparecchi per la misura delle radiazioni.

Il dott. Luria ha dimostrato di possedere buone doti di studioso e di ricercatore, anche nel campo della fisica sperimentale, e si è procurato una preparazione particolarmente adatta per l'argomento di studio in cui intende perfezionarsi. Tale argomento, "Le applicazioni biologiche della radioattività artificiale", che come è noto presenta notevolissimo interesse scientifico, è da qualche anno oggetto di studio in alcuni importanti istituti fisici esteri, e si spera potrà avere in un prossimo futuro largo sviluppo anche in Italia.

Dall'Istituto di Fisica Teorica dell'Università di Copenaghen, presso cui il dott. Luria desidera recarsi, è stato assicurato che egli verrebbe favorevolmente accolto.

Enrico Fermi
(Prof. Enrico Fermi)

Fig. 5. Lettera di presentazione di Luria per Enrico Fermi del 25 marzo 1938. (S.E. Luria Papers, American Philosophical Society, Series I. Correspondence 1938-1992, Fermi, Enrico, Box 12, 1938).

e a pubblicare una serie di dati non appena si fossero rivelati significativi – come dimostrano i numerosi articoli di microanatomia scritti durante il periodo torinese, nonché l’innovativa impostazione degli esperimenti di genetica batterica e fisica delle radiazioni (cfr. tesi di specializzazione³⁵) iniziati nella fase romana e successivamente sviluppati e pubblicati nel biennio francese. Da Fermi aveva imparato un linguaggio e un metodo di ragionamento nuovo, basato sull’approccio statistico-probabilistico proveniente dalla fisica nucleare – come dimostrano le stime usate per il conteggio delle placche infettive sulle piastre di Petri, e la distribuzione di Poisson per gli effetti letali delle radiazioni ionizzanti.

Costretto nuovamente all’esilio dall’ingresso a Parigi dei nazisti, nel settembre del 1940 sbarcò a New York dove Fermi, allora incaricato alla Columbia University, gli fece ottenere presso il College of Physicians and Surgeons di New York, una borsa di studio dalla Rockefeller Foundation. La fondazione accolse positivamente l’autorevole giudizio di Fermi (fig. 5), come Luria stesso ricorda³⁶, ma visti i costanti finanziamenti erogati nel decennio precedente per finanziare il laboratorio di Levi durante i difficili anni del fascismo, essa non avrà forse ignorato nella decisione dell’assegnazione, sia per continuità disciplinare sia per tradizione di ‘scuola’, la formazione presso il laboratorio torinese di Luria – ragioni che forse hanno concorso all’attribuzione delle borse Rockefeller che permisero a Dulbecco e Levi Montalcini di emigrare negli Stati Uniti nel 1947³⁷.

Nel dicembre del 1940, Luria incontrò Max Delbrück con cui iniziò immediatamente una collaborazione (figg. 6-7). Entusiasti dei reciproci interessi, i due passarono le ferie natalizie alle prese con i primi esperimenti sui meccanismi infettivi dei fagi. Fu l’inizio di una collaborazione che proseguì pressoché ininterrotta per quasi un decennio e che nel 1943 culminò

³⁵ Id., *Le dosi profonde e le curve di isodose nella terapia Roentgen ad altissima tensione*, cit.

³⁶ Id., *Storia di geni e di me*, cit., pp. 24-26.

³⁷ Che la provenienza dalla scuola di Levi avesse favorito l’assegnazione dei *grants* Rockefeller agli allievi Nobel, lo rivelano diversi indizi. Nel caso di Luria, ad esempio, lo suggerisce la presenza della *recommendation letter* di Giuseppe Levi che, assieme a quella di Enrico Fermi, egli porta con sé a New York, come forse un ruolo possono averlo giocato nel curriculum anche le sei pubblicazioni scritte insieme a Buccianti, allievo di Levi nonché *fellow* lungamente finanziato dalla Rockefeller. Nel caso della Levi Montalcini, accanto alle molte pubblicazioni con il maestro, va considerato che la richiesta della borsa Rockefeller viene dallo stesso Victor Hamburger, il cui scopo era ospitare nel proprio laboratorio la giovane allieva di Levi per confrontare le proprie teorie sullo sviluppo neurale embrionale con quelle della scuola torinese. Infine, Dulbecco, che ottiene la borsa grazie all’interessamento oltre che di Luria stesso, di Paul A. Weiss, che aveva ospitato nel biennio 1938-39 a Chicago Rodolfo Amprino, l’allievo prediletto di Levi, e di Max Delbrück.

nella formulazione del test di fluttuazione³⁸: la scoperta più importante della loro carriera³⁹, che dimostrò, utilizzando un modello statistico, che le mutazioni virali erano spontanee e soggette a dinamiche selettive, secondo il modello darwiniano allora ignorato dalla batteriologia. Sebbene già nel periodo francese Luria stesse utilizzando strumenti statistici per misurare il tasso di mutazione, fu solo grazie alla casuale osservazione di una *slot machine*, durante una festa universitaria, che egli intuì il comune meccanismo probabilistico⁴⁰.

Sono gli anni Quaranta che segnano la trasformazione e il successo internazionale di Luria, anni nei quali egli recupera il rapporto con i suoi compagni Montalcini e Dulbecco favorendone l'ingresso negli Usa. Dopo un biennio alla Columbia University (1940-42), Luria passò gli anni professionalmente più significativi presso l'Indiana University (1943-50), prima come *assistant*

³⁸ S. Luria, M. Delbrück, *Mutations of bacteria from virus sensitivity to virus resistance*, in «Genetics», 1943, 6, pp. 491-511.

³⁹ In realtà, contrariamente alla vulgata storica, Delbrück diede solo un contributo finale al test di fluttuazione, aggiustando alcuni calcoli errati e proponendo un'elegante dimostrazione matematica. Cfr. S. Luria, *Mutations of Bacteria and of Bacteriophage*, in J. Cairns, M. Delbrück, G.S. Stent, J.D. Watson (eds.), *Phage and the origins of molecular biology*, Cold Spring Harbor of Quantitative Biology, New York 1966, pp. 174-5. Cfr. anche *Letter from Max Delbruck to Salvador E. Luria on April 5, 1943*, SLP, cit., Series V, *Research notes*, 1941-1979, *Bacterial Resistance*, 1943, Box 71 (<http://profiles.nlm.nih.gov/ps/access/QLBBFT.pdf>); R.E. Selya, *Salvador Luria's unfinished experiment: the public life of a biologist in a cold war democracy*, Ph.D. thesis in History of Science Department, Harvard University, Cambridge (Ma) 2002, pp. 81 ss. Nel frattempo, tuttavia, anche Delbrück era giunto indipendentemente da Luria a usare sui fagi la distribuzione di Poisson, cfr. T.D. Brock, *The emergence of bacterial genetics*, Cold Spring Harbor of Quantitative Biology, New York 1990, pp. 119-128.

⁴⁰ Il ruolo del caso e della serendipità serpeggia frequentemente nell'autobiografia di Luria, a partire dall'*incipit* del titolo originale in inglese (*A slot machine, a broken test tube*) che ricorda i due venti fortuiti che sono alla base delle due scoperte più importanti della sua carriera: il test di fluttuazione e gli enzimi di restrizione (S. Luria, *A slot machine, a broken test tube: an autobiography*, Harper & Row, New York 1984). Nel caso specifico, riflettendo sulle regole statistiche che governano le *slot machines*, Luria intuì un'analogia con i meccanismi di resistenza batterica alle infezioni: le mutazioni che rendono i batteri resistenti e le vincite alte sono entrambi eventi rari (Poisson) che possono essere calcolati misurando la distribuzione statistica della loro variazione (fluttuazione) attorno a un prevedibile valore medio costante. Se la fluttuazione di questo valore rimane costante in tempi diversi, sarà valida l'ipotesi lamarckiana, dato che il numero di batteri resistenti risulterà dal numero dei virus che la inducono secondo un rapporto proporzionale; se invece il valore aumenta con il passare del tempo (se, cioè, all'aumentare delle generazioni trascorse le mutazioni si distribuiscono in gruppi disomogenei), sarà il segnale che le preesistenti famiglie batteriche casualmente resistenti si sono moltiplicate sempre più, secondo l'ipotesi selettiva, come di fatto avvenne. Cfr. A. Grignolio, *Salvador E. Luria*, in *La cultura italiana. Il progresso scientifico*, Istituto dell'Enciclopedia Italiana Treccani, 3 voll., Roma 2013, pp. 736-741.



Fig. 6. Max Delbrück e Salvador Luria, Cold Spring Harbor Laboratory, 1953 (collezione privata, ora in Cold Spring Harbor Laboratory. Archives, 12114). *Per gentile concessione di Dan Luria.*

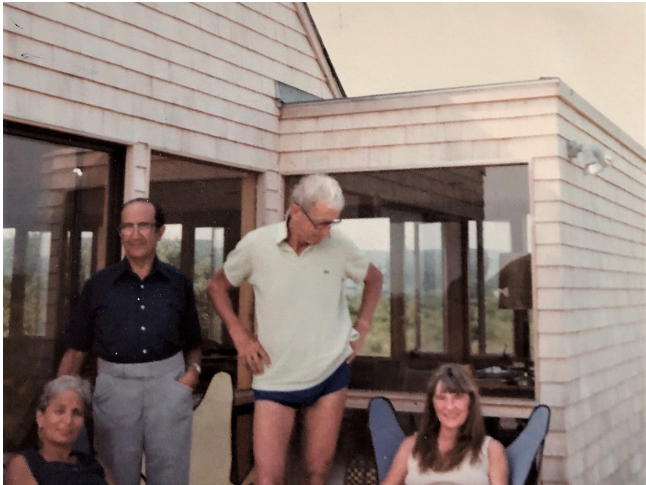


Fig. 7. Salvador e Zella Luria con Max e Manny Delbrück a Martha's Vineyard nel 1980 circa (collezione privata, ora in National Library of Medicine ID: 101584611X61). *Per gentile concessione di Dan Luria.*

e poi *associate professor* di batteriologia. Dopo il test di fluttuazione, nel 1946 fece la seconda importante scoperta della sua carriera, individuando uno dei primi meccanismi di riparazione del DNA tramite ricombinazione genica⁴¹ (fig. 8). Il decennio è un momento ricco anche a livello personale e familiare. In questo periodo sposò (1945) la psicologa Zella Hurwitz (fig. 9) – da cui nel 1948 ebbe il suo unico figlio, Daniel –, ottenne la cittadinanza americana (1947), coltivò anche le prime esperienze politiche, sostenendo i movimenti sindacali e la campagna elettorale di alcuni candidati progressisti, e nel 1952, compì la sua terza importante scoperta, rivelando l'esistenza degli enzimi di restrizione del DNA dai quali nascerà l'ingegneria genetica. A questi anni appartengono anche i due eventi chiave che diedero notorietà a Luria. In primo luogo, fonda con Delbrück e Alfred Hershey (1908-1997) il cosiddetto «gruppo del fago», una scuola estiva presso il Cold Spring Harbor Laboratory che, come accennato, ebbe il merito di gettare le basi della genetica batterica e quindi inaugurare lo sviluppo della biologia molecolare (impresa che concorse all'assegnazione del Nobel ai tre padri fondatori nel 1969)⁴². L'altro evento rilevante è invece da collocare nel 1947, quando cioè tra gli studenti del corso in batteriologia e virologia si iscrive James D. Watson (nato nel 1928), il primo allievo dell'Indiana University a svolgere la tesi di dottorato sotto la guida di Luria. Appena sei anni dopo, nel 1953, Watson diventerà uno scienziato di fama mondiale grazie alla scoperta, in collaborazione con Francis Crick e Maurice Wilkins, della struttura del DNA, avviando tanto per i maestri quanto per gli allievi una eccezionale stagione di notorietà e successi scientifici, spesso coronati dal Nobel⁴³.

⁴¹ S. Luria, *Reactivation of irradiated bacteriophage by transfer of self-reproducing units*, in «Proc. Nat. Acad. Sci. USA», 1947, 9, pp. 253-264.

⁴² Tra il 1944 e il 1946 il trio redige il cosiddetto il «trattato del fago» (*Phage Treaty*) nel quale si concentra la ricerca su un numero limitato di fagi e ceppi batterici, nel tentativo di standardizzare le condizioni sperimentali e rendere confrontabili e riproducibili gli esperimenti dei diversi laboratori sul fago, cfr. A.D. Hershey, M. Delbrück, A.H. Doermann, S. Luria, *Second revision: proposal on nomenclature*, March 14 1946, SLP, cit., Series III, *Works by Luria*.

⁴³ I primi, e forse principali, responsabili della mitizzazione della scoperta del Dna sono stati gli stessi padri fondatori della biologia molecolare con testimonianze dirette (è il caso del celebre libro-intervista di H.F. Judson, *The eighth day of creation: makers of the revolution in biology*, Simon and Schuster, New York 1979) o volumi autolebbrativi. Tra i fondatori, un ruolo decisivo lo hanno giocato proprio i due autori della celebre scoperta: James Watson, che con «La doppia elica» (1968), un racconto autobiografico non privo di dichiarazioni immodeste e trionfanti sulla molecola che ha «svelato il segreto della vita», diverrà l'autore del primo best-seller di divulgazione scientifica, finendo per imporre un modello interpretativo che influenzerà, seppur con forza diversa, storici della scienza e grande pubblico; e Francis Crick, che alcuni anni dopo, sebbene nel tentativo di riequilibrare con la propria versione provocazioni ed errori valutativi del suo ex-collega, finirà per corroborare il mito della scoperta



Fig. 8. Salvador Luria in laboratorio al Cold Spring Harbor nel 1947 (collezione privata).
Per gentile concessione di Dan Luria.



Fig. 9. Salvador e Zella Luria Woods Hole estate 1975 (collezione privata). *Per gentile concessione di Dan Luria.*

È in questa fase propulsiva della propria vita personale e professionale, come accennato, che Luria riesce a facilitare l'ingresso negli Usa dei suoi ex-compagni di università, imprimendo un cambio radicale nella loro vita ma soprattutto una svolta disciplinare verso la «molecolarizzazione» delle rispettive linee di ricerca. Negli anni dell'esilio americano Luria rimane in contatto epistolare con la famiglia torinese e anche con il laboratorio di Levi attraverso scambi epistolari con Rita Levi Montalcini che dunque resta costantemente al corrente degli studi di genetica batterica che Luria stava svolgendo negli USA. Nell'estate del 1946, quando Luria torna a Torino per abbracciare i familiari dopo la lunga pausa della guerra e fa visita al vecchio Levi appena reintegrato nell'Istituto, la sua visita viene annunciata dalle lettere con la Montalcini. Lettere nelle quali, tra l'altro, ella prepara il terreno sia per il breve ma significativo incontro tra Luria e Dulbecco sul comune terreno della radiogenetica, sia per il proprio periodo di studio presso il laboratorio statunitense di Victor Hamburger⁴⁴. Furono dunque questi scambi epistolari con Luria, allora già rappresentante di spicco della radiogenetica statunitense, ad aver convinto la Montalcini a suggerire a Dulbecco, una volta incontrati dopo la pausa del conflitto, di dedicarsi alla fisica per poter usare le radiazioni come strumento di indagine della genetica⁴⁵.

4. Diaspora e ricongiungimento

Nell'estate del 1946, dunque, Dulbecco incontra Luria a Torino e questi gli offre una posizione all'Indiana University. Nell'autunno del 1947 Dulbecco e Levi Montalcini si imbarcano sulla stessa nave per gli Stati

del Dna, sminuendo non solo discipline e scoperte biologiche che l'hanno resa possibile ma affermando persino il primato della scoperta sugli scopritori: «invece di dire che sono stati Watson e Crick a creare la struttura del Dna, preferirei piuttosto sottolineare come sia stata la struttura del Dna a creare Watson e Crick» (F. Crick, *What mad pursuit: a personal view of scientific discovery*, Basic Books, New York 1988, p. 76). Cfr. anche R. Dulbecco, *Scienza, vita e avventura*, cit., pp. 302-305. Di recente, anche la storiografia delle neuroscienze ha iniziato a considerare la «molecolarizzazione» dello studio del sistema nervoso come un discrimine storiografico (N. Rose, J. Abi-Rached, *The Birth of the Neuromolecular Gaze*, in «Hist. Human Sciences», 2010, 1, 1-26, part. pp. 7-10), un elemento centrale per bilanciare il ruolo della scuola torinese e quello della scuola americana nella scoperta del NGF da parte della Montalcini; E. Kandel, *The Origins of Modern Neuroscience*, in «Ann. Rev. Neuroscience», 1982, 5 (1), pp. 299-303, cit. p. 302.

⁴⁴ S. Luria, *Storia di geni e di me*, cit., p. 53.

⁴⁵ R. Levi Montalcini, *Elogio dell'imperfezione*, cit., pp. 94, 145; R. Dulbecco, *Scienza, vita e avventura*, cit., p. 133.

Uniti. Entrambi iniziano le proprie ricerche americane grazie a un *grant* del Rockefeller Institute (poi *Foundation*). Da quel momento in poi le loro strade divergono, verso la genetica del cancro Dulbecco, verso le neuroscienze Levi Montalcini. Due percorsi che pur nelle divergenze troveranno un comune terreno nella molecolarizzazione del sapere biomedico, particolarmente trainante negli Stati Uniti, nonché nei saltuari recuperi della tradizione torinese. Prima delle conclusioni, è utile analizzare questo intreccio per svelare i rapporti tra la formazione torinese e statunitense, tra la tradizione locale e gli eventi storici e disciplinari di rilievo internazionale.

Nel 1930, a soli sedici anni, Dulbecco (1914-2012) entrò nella facoltà di medicina dell'Università di Torino, nello stesso anno di Rita Levi Montalcini⁴⁶. Al secondo anno venne anch'egli ammesso come interno nel laboratorio di Levi. Il primo compito assegnatogli dal maestro, a cui prese parte Levi Montalcini⁴⁷, consistette nell'esaminare il numero di cellule nervose della colonna spinale dei ratti per valutarne l'eventuale fluttuazione in base alla nidiata, per poi dedicarsi al campo della rigenerazione cellulare e della coltivazione dei tessuti in vitro, l'area di ricerca internazionalmente più apprezzata del laboratorio di Levi, che tornerà parzialmente utile a Dulbecco negli anni dell'emigrazione americana⁴⁸. Nonostante lo slancio iniziale e la pubblicazione dei primi risultati⁴⁹, egli decide dal terzo anno di dedicarsi all'Anatomia Patologica, lascia il laboratorio di Levi per quello di Ferruccio Vanzetti, e si dedica alla fisiopatologia passando dall'elettrofisiologia del cuore alle disfunzioni epatiche⁵⁰, dividendo la propria attività

⁴⁶ Alcune parti dei brani che ricostruiscono le biografie scientifiche di Luria, Dulbecco e Montalcini sono riprese da precedenti articoli che l'autore ha dedicato a questi temi, tra cui: A. Grignolio, F. De Sio, *Uno sconosciuto illustre: Giuseppe Levi tra scienza, antifascismo e premi Nobel*, in «Med. Sec.», 2009, 21 (3), pp. 847-913; A. Grignolio, *Giuseppe Levi*, in *La cultura italiana. Il progresso scientifico*, Istituto dell'Enciclopedia Italiana Treccani, 3 voll., Roma 2013, pp. 646-650; Id., *Renato Dulbecco*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Istituto dell'Enciclopedia Italiana Treccani, Roma 2014.

⁴⁷ R. Levi Montalcini, *Elogio dell'imperfezione*, cit., p. 71.

⁴⁸ J.A. Witkowski, *Alexis Carrel and the mysticism of tissue culture*, in «MedHist», 1979, 23 (3), pp. 280, 292.

⁴⁹ R. Dulbecco, L. Magri, *Ricerche sul numero dei neuroni sensitivi nei gangli dei metameri toracici dell'uomo*, in «Monit. Zool. Ital.», 1933, 44, pp. 126-131.

⁵⁰ R. Dulbecco, *Scienza, vita e avventura*, cit., pp. 53-64. La maggior parte delle pubblicazioni su questi temi Dulbecco le pubblicherà negli anni successivi alla laurea, durante il servizio militare (1936-1938) e nei brevi periodi di congedo (1939-1943), *ibidem*, pp. 72, 83. Cfr. ad esempio R. Dulbecco, G. Palomba, *Osservazioni su di una curva di volume del cuore umano: al pletismodiagramma*, in «Cuore Circ.», 1937, XXI (86), p. 153; R. Dulbecco, *Cosiddetta atrofia giallo-acuta del fegato*, in «Rev. Clin. Espan.», 1943; Id., *Nuove con-*

clinica tra il reparto di cardiologia dell'Ospedale Mauriziano e l'Ospedale delle Molinette. Nel 1936 si laurea con Vanzetti con una tesi sugli effetti degenerativi del fegato causati dalle ostruzioni dei condotti biliari⁵¹. Dopo due anni nel servizio di leva come ufficiale medico (1936-1938), Dulbecco continua l'attività di ricerca nell'Istituto di Anatomia Patologica, che si interrompe per l'arrivo della guerra: parte prima per una breve esperienza sul fronte francese (1940-1941) e poi per la campagna di Russia (1942-1943) partecipando all'offensiva sul Don. La lussazione di una spalla e il relativo congedo gli offrono un periodo di riflessione nel quale decide di disertare le armi sino al giorno della liberazione per aiutare come medico i partigiani nascosti sulle colline torinesi⁵². Ripresa l'attività di ricerca, inizia a collaborare con il giovane collega d'istituto Giacomo Mottura (1906-1990) sui tumori neurogeni, le patologie polmonari e le ricostruzioni plastiche tridimensionali⁵³. Sul finire del '45, la forte delusione per i risultati di queste ricerche e il nuovo incontro con la ex compagna di corso Rita Levi Montalcini rappresentarono per il giovane scienziato un punto di svolta scientifico e umano. Nei successivi due anni Dulbecco, su consiglio della Montalcini, stravolse i propri progetti di ricerca e intraprese due nuovi percorsi disciplinari: ritornò come assistente (1946) nell'Istituto di Anatomia Normale di Levi per lavorare sugli effetti delle radiazioni ionizzanti sugli embrioni di pollo e si iscrisse alla facoltà di fisica per approfondire lo studio dei fenomeni radioattivi. Con i nuovi esperimenti, che rappresentano il primo passo dello scienziato verso la biofisica e la genetica, egli, puntando casualmente un ago

cezioni sulla patogenesi dell'ittero. Significato funzionale e classificazione, in «Minerva Med.», 1944, 35.

⁵¹ Dispersa da molti anni, della tesi di Dulbecco non è possibile stabilire l'esatto titolo, cfr. R. Dulbecco, *Sulla alterazione del parenchima epatico nella stasi e nella infezione della bile*, a.a. 1935/36, Tesi di Laurea discussa il 17 luglio 1936, Annuario della R. Università di Torino 1935-36, p. 253, ASUT; un titolo diverso è invece riportato sul registro dei verbali d'esame, cfr. R. Dulbecco, *Le alterazioni del parenchima epatico nella occlusione del coledoco*, a.a. 1935/36, Tesi di Laurea discussa il 17 luglio 1936, Facoltà di Medicina e Chirurgia, Verbali Esami di Laurea, Aggregazione 1-775, p. 286, ASUT.

⁵² S. Cohen, *Interview with Renato Dulbecco*, cit., p. 9.

⁵³ G. Mottura, R. Dulbecco, *Sul neurinoma centrale*, in «Arch. Sci. Med.», 1942, 74 (2), pp. 85-133; R. Dulbecco, *Ricerche sull'architettura dei bronchioli respiratori del polmone umano. Considerazioni sulla dinamica respiratoria e loro riflessi nella patologia*, in «G. Accad. Med.», Torino 1945, pp. 7-12; R. Dulbecco, *Alcuni perfezionamenti tecnici al metodo delle ricostruzioni plastiche*, in «Arch. Sci. Med.», 1945, 79, pp. 180-183; G. Mottura, R. Dulbecco, *Ricostruzione plastica di parenchima polmonare in casi di Pneumoconiosi siderotica*, in «Rass. Med. Ind.», 1946, 15, pp. 82-88; G. Mottura, R. Dulbecco, *Architectural characteristics of various types of pneumoconiosis by means of plastic models*, in «Bull. Histol. Appl.», 1947, 24, p. 11.

di radon sulle cellule riproduttive (più grandi e ricche di DNA rispetto alle cellule somatiche) dimostrò che l'emissione radioattiva sugli embrioni di pollo veniva assorbita con maggiore intensità dalle gonadi, causando nelle fasi successive dello sviluppo il fenomeno correlato dell'assenza di cellule germinali e della manifestazione del solo sesso maschile⁵⁴. Tuttavia, nonostante l'entusiasmo del maestro per questi primi risultati, né Levi né i suoi collaboratori possedevano i rudimenti della genetica e della biofisica necessari a Dulbecco per poter proseguire gli esperimenti.

I rapporti con l'Italia e Levi cessano con l'incontro di Luria e l'offerta di una borsa Rockefeller per studiare la genetica batterica presso l'Indiana University. Dopo due anni di esperimenti in collaborazione con Luria sulla riattivazione dei batteriofagi colpiti da radiazione⁵⁵, nel 1949 Dulbecco si trasferì al California Institute of Technology per lavorare con Max Delbrück. È qui che avviò le ricerche che lo condurranno all'assegnazione del Nobel. Stimolato da Delbrück a lasciare la virologia batterica per la virologia animale, Dulbecco inventò un procedimento innovativo per isolare e numerare i singoli processi infettivi dei virus nelle cellule animali. L'intuizione gli venne riadattando la «tecnica delle placche» usata per visualizzare gli attacchi dei virus sui batteri⁵⁶ e aggiornando, in un importante viaggio nei laboratori americani, il metodo delle colture cellulari appreso alla scuola di

⁵⁴ R. Dulbecco, *Sviluppo di gonadi in assenza di cellule sessuali negli embrioni di pollo. Sterilizzazione completa mediante esposizione a raggi [gamma] allo stadio di linea primitiva*, in «Atti Accad. Naz. Lincei», 1946, 2, pp. 1211-1213; Id., *Nuove ricerche sulla sterilizzazione di embrioni di pollo mediante irradiazione con raggi gamma. Costante determinazione del sesso femminile negli embrioni irradiati*, in «Atti Accad. Naz. Lincei», 1947, 2, pp. 659-662; Id., *Azione dei raggi gamma del radio sullo sviluppo della gonade e sui caratteri somatici del sesso nell'embrione di pollo*, in «Atti Accad. Naz. Lincei», 1948, 8 (s. 3, v. 2, n. 1), pp. 1-20; Id., *Développement de la gonade malgré la disparition totale des cellules sexuelles après irradiations par les rayons X*, in «Schweiz. Med. Wochenschr.», 1948, 78 (17), p. 412. Le ricerche di Dulbecco sugli embrioni irradiati, come quelle della Montalcini sullo sviluppo embrionale, erano finanziate dal Centro di Studi sull'Accrescimento e la Senescenza degli Organismi e si svolgevano nei locali dell'Istituto di Anatomia Normale, cfr. C. Testa (a cura di), *Inventario Archivio Storico dell'Istituto di Anatomia Umana Normale*, Torino, 2004, fald. 34, fasc. 264, v. 81.

⁵⁵ S. Luria, R. Dulbecco, *Lethal mutations and inactivation of individual genetic determinants in bacteriophage*, in «Genetics», 1948, 33 (6), pp. 618-619; Id., *Genetic Recombinations Leading to Production of Active Bacteriophage from Ultraviolet Inactivated Bacteriophage Particles*, in «Genetics», 1949, 34 (2), pp. 93-125; R. Dulbecco, *Reactivation of ultra-violet inactivated bacteriophage by visible light*, in «Nature», 1949, 163 (4155), p. 949.

⁵⁶ R. Dulbecco, *The Plaque Technique and the Development of Quantitative Animal Virology*, in J. Cairns, M. Delbrück, G.S. Stent, J.D. Watson (eds.), *Phage and the origins of molecular biology*, Cold Spring Harbor of Quantitative Biology, New York 1966, pp. 287-291.

Levi⁵⁷. Contrariamente alle aspettative, Dulbecco trovò la tecnica leviana – mutuata dalla sospensione in goccia di Harrison e particolarmente adatta alla coltura dei tessuti nervosi – pressoché inservibile ai nuovi scopi. Più che crescere cellule nervose per qualche giorno al fine di osservarne forma e funzione secondo quanto appreso da Levi, Dulbecco doveva ora escogitare una sistema di coltura sensibile alle infezioni virali, un sistema cioè capace non solo di sviluppare la crescita di tessuti animali infettabili, ma anche, e soprattutto, di mantenere la rigenerazione cellulare in vitro per diversi giorni per concedere al processo infettivo il tempo di attecchire sul tessuto ospite. Perfezionando tale tecnica⁵⁸, Dulbecco riuscì a dotare la virologia animale di un nuovo approccio quantitativo, che negli anni a venire lo condurrà a tracciare le proprietà biologiche fondamentali del virus della poliomielite e a scoprire i meccanismi infettivi dei primi virus oncogeni (*Rous Sarcoma Virus, polyoma, SV40*). Egli iniziò sviluppando un metodo di isolamento del virus dell'encefalite equina⁵⁹, per poi dedicarsi all'isolamento di linnee pure del virus della poliomielite⁶⁰, che saranno utilizzate da Albert Sabin per lo sviluppo del vaccino antipolio. Dalla metà degli anni Cinquanta, ispirato dalla collaborazione di giovani virologi come Howard Temin e Harry Rubin, Dulbecco dedicò la sua attenzione al virus oncogeno del sarcoma di Rous, in grado di sviluppare il tumore nei polli⁶¹.

Egli intuì che il *Rous sarcoma virus* alterava i geni dell'ospite causando una proliferazione incontrollata e che tali geni nel periodo della latenza dovevano associarsi ai geni della cellula infettata. Per approfondire tali

⁵⁷ R. Dulbecco, *The Plaque Technique and the Development of Quantitative Animal Virology*, in J. Cairns, M. Delbrück, G.S. Stent, J.D. Watson (eds.), *Phage and the origins of molecular biology*, cit., pp. 287-291; D.J. Kevles, *Renato Dulbecco and the new animal virology: medicine, methods, and molecules*, in «J. Hist. Biol.», 1993, 26 (3), pp. 429-430.

⁵⁸ L'intuizione gli venne riadattando la «tecnica delle placche» (*plaque assay technique*) recentemente messa a punto da Luria e Delbrück (Luria-Delbrück, 1943) per quantificare gli attacchi dei virus sui batteri e aggiornando, in un lungo viaggio nei laboratori americani, il metodo delle colture cellulari appreso alla scuola di Levi. Cfr. R. Dulbecco, *The Plaque Technique and the Development of Quantitative Animal Virology*, cit., pp. 287-291; D.J. Kevles, *Renato Dulbecco and the new animal virology: medicine, methods, and molecules*, cit.; A. Grignolio, *Renato Dulbecco*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Istituto dell'Enciclopedia Italiana Treccani, Roma 2014.

⁵⁹ R. Dulbecco, *Production of Plaques in Monolayer Tissue Cultures by Single Particles of an Animal Virus*, in «Proc. Nat. Acad. Sci. USA», 1952, 38 (8), pp. 747-752.

⁶⁰ R. Dulbecco, M. Vogt, *Plaque Formation and Isolation of Pure Lines with Poliomyelitis Viruses*, in «J. Exp. Med.», 1954, 99, pp. 167-182.

⁶¹ R. Dulbecco, *Interaction of viruses and animal cells; a study of facts and interpretations*, in «Phys. Rev.», 1955, 35 (2), pp. 301-335.

ipotesi innovative, utilizzò nuovi virus oncogeni a base di DNA, come il poliovirus e il simian virus 40⁶². Solo sul finire degli anni Sessanta, riuscì a dimostrare insieme a Joseph Sambrook che il DNA virale veniva integrato nei geni della cellula, trasmesso per alcune generazioni, sino a causare un'alterazione del ciclo riproduttivo responsabile della trasformazione maligna della cellula⁶³.

Tra il 1972 e il 1977 si trasferì all'Imperial Cancer Research Fund Laboratories di Londra per indagare in collaborazione con Michael Stoker lo sviluppo del cancro nei tessuti umani. Nel 1975 gli venne assegnato il Premio Nobel insieme a Temin e Baltimore per le loro «scoperte riguardanti l'interazione tra i virus tumorali e il materiale genetico della cellula»⁶⁴.

Un decennio dopo lancia con un articolo sulla rivista «Science» il progetto per il sequenziamento dell'intero genoma umano per comprendere i meccanismi dell'insorgenza del cancro⁶⁵.

Gli intrecci tra la formazione torinese e quella americana di Rita Levi Montalcini sono simili seppur diversi. Dei tre allievi Nobel, ella fu l'unica a stabilire con Levi un lungo sodalizio intellettuale e disciplinare, iniziato con il suo primo lavoro nel 1932 e destinato a durare fino alla morte del professore, 33 anni dopo⁶⁶. Ella infatti proseguì la propria ricerca in ambi-

⁶² Id., *Clonal derivation of viruses*, in «Ann N.Y. Acad. Sci. 1957; 68 (2), pp. 245-249; R. Dulbecco, G. Freeman, *Plaque production by the polyoma virus*, in «Virology 1959; 8 (3), pp. 396-397; R. Dulbecco, *Induction of tumors in vitro with viruses*, in «Nat. Canc. Inst. Mon. 1960; 4, pp. 355-361; R. Dulbecco, M. Vogt, *Significance of Continued Virus Production in Tissue Cultures Rendered Neoplastic by Polyoma Virus*, in «Proc Nat. Acad. Sci. USA 1960; 46 (12): 1617-1623; M. Vogt, *Properties of cells transformed by polyoma virus*, Cold Sp. H. Symp. Q. Biol., 1962, 27, pp. 367-374; R. Dulbecco, *Transformation of Cells in Vitro by DNA-Containing Viruses*, in «J. Am. Med. Ass.», 1964, 190 (8), pp. 721-726; R. Dulbecco, M. Hatanaka, *Induction of DNA synthesis by SV40*, in «Proc. Nat. Acad. Sci. USA», 1966, 56 (2), pp. 736-740.

⁶³ R. Dulbecco, *The state of the DNA of polyoma virus and SV40 in transformed cells*, Cold Sp. H. Symp. Q. Biol., 1968, 33, pp. 777-783; R. Dulbecco, J. Sambrook, H. Westphal, P.R. Srinivasan, *The integrated state of viral DNA in SV40-transformed cells*, in «Proc Nat. Acad. Sci. USA», 1968, 60 (4), pp. 1288-1295; R. Dulbecco, M.G. Stoker, *Conditions determining initiation of DNA synthesis in 3T3 cells*, in «Proc Nat. Acad. Sci. USA», 1970, 66 (1), pp. 204-210.

⁶⁴ R. Dulbecco, *Nobel Lecture: From the Molecular Biology of Oncogenic DNA Viruses to Cancer*, 1975. Nobelprize.org. Nobel Media AB 2013. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1975/dulbecco-lecture.html (aggiornato a settembre 2020).

⁶⁵ Id., *A turning point in cancer research: sequencing the human genome*, in «Science», 1986, 231 (4742), pp. 1055-1056.

⁶⁶ R. Levi-Montalcini, *NGF: an uncharted route*, in F.G. Worden, J.P. Swazey, G. Adelman (eds.), *The Neurosciences: Paths of Discovery*, MIT Press, Cambridge (MA), 1975, pp. 245-265.

to neuroanatomico e collaborò direttamente con Levi, suo «primo e unico assistente» in una serie di ricerche condotte nei primi anni Quaranta e da lei stessa collocate nella «preistoria» dell'NGF (*Nerve Growth Factor*), la scoperta che l'ha resa famosa e cui ha dedicato l'intera vita professionale. Sino al 1947, anno del suo 'esilio' americano, la Montalcini lavorò presso l'Istituto di Anatomia di Torino, e collaborò con il Centro Nazionale per gli studi sulla senescenza del CNR, creato e diretto da Levi dopo la reintegrazione seguita all'espulsione delle leggi razziali. Dopo il primo lavoro svolto insieme a Dulbecco come interna del laboratorio nel 1931, Levi Montalcini affrontò diversi problemi nel corso degli anni universitari a contatto con il maestro, tra cui lo studio delle tonofirbille nello zoccolo del feto di vitello, lo sviluppo delle circonvoluzioni del cervello nei feti umani e la formazione del tessuto collagene reticolare dei tessuti connettivali, muscolari ed epiteliali, che divenne oggetto della tesi laurea (1936)⁶⁷. Con la salita al potere di Hitler in Germania nel 1933 inizia l'espulsione degli ebrei e il laboratorio torinese di Levi accoglie la scienziata Hertha Meyer (1902-1990), nota per le sue tecniche innovative sulle colture cellulari e soprattutto per la colorazione del tessuto nervoso con sali d'argento, una tradizione locale acquisita dal laboratorio torinese che si dimostrerà utile nella scoperta del NGF. L'arrivo nel 1938 dell'abominio delle leggi razziali obbligarono Giuseppe Levi e Levi Montalcini a lasciare l'Università di Torino (fig. 10) e a condurre per lunghi anni ricerche in laboratori di fortuna allestiti in casa o all'estero. Nel 1938 Levi si trasferì in Belgio per continuare i suoi lavori sulle culture in vitro su invito del Professor Chèvremont, direttore dell'Istituto di Anatomia Patologica dell'università di Liegi. Vi rimase dall'agosto del 1939 al luglio del 1941⁶⁸, anche se il periodo di lavoro effettivo – che lo videro da marzo a dicembre del 1939 nuovamente a fianco della Montalcini, anch'ella costretta all'esilio in Belgio, sebbene a Bruxelles – fu di appena nove mesi, poiché nel maggio del 1940 l'occupazione del Belgio da parte delle truppe naziste costrinse la sua vita alla clandestinità. Giunto a Torino, per un anno, dall'autunno del 1941 all'autunno del 1942, lavora con la Montalcini nel laboratorio di fortuna che l'allieva ha allestito nella propria stanza da letto.

Nell'estate del 1940 Levi Montalcini legge per la prima volta l'articolo di Viktor Hamburger che le era stato consigliato da Levi un paio di anni prima, ed è qui che inizia il percorso che la porterà a Stoccolma. L'articolo, incentrato sulla natura dei meccanismi che governano il rapporto fra lo sviluppo

⁶⁷ R. Levi-Montalcini, *Elogio dell'imperfezione*, pp. 78-79, 82.

⁶⁸ P. Gabrielli, *Col freddo nel cuore. Uomini e donne nell'emigrazione antifascista*, Donzelli, Roma 2004, pp. 157-158.

Pass Mod. 2



MINISTERO DELL'EDVCAZIONE NAZIONALE
Direzione Generale della Istruzione Superiore

14 OTT. 1938 Anno XVI

Divisione I Posiz. 23 P.E. Roma
 Prot. N° 6515 Allegati _____
 Risposta al f. del _____ At Rettore della Regia
 Dir. _____ N° _____ Università di _____
OGGETTO: Sospensione del personale. = TORINO *

Si comunica il seguente elenco del personale insegnante ed assistente di codesta Università che, ai sensi degli articoli 3 e 6 del R.D.L. 5 settembre 1938, n.1390, è sospeso dal servizio a decorrere dal 16 ottobre 1938-XVI:

Professori

Prof. Vitta Cino - O. di Diritto amministrativo
 " Ottolenghi Samuele Giuseppe - O. di Diritto internazionale
 " De Benedetti Zaccaria Santorre - O. di Filologia romanza
 " Balco Giorgio - O. di Storia medioevale
 " Momigliano Arnaldo - S. di Storia romana con esercitazioni di epigrafia romana
 " Terracini Alessandro - O. di Geometria analitica con elementi di proiettiva descrittiva con disegno
 " Herlitzka Amedeo - O. di Fisiologia umana
 " Levi Giuseppe - O. di Anatomia umana normale
 " Pano Gino - O. di Geometria analitica con elementi di proiettiva e geometria descrittiva con disegno

R. UNIVERSITÀ DI TORINO
 16-OTT-1938
 2664
 4 2

./.

a

Fig. 10 a. Documento d'espulsione dall'Università di Torino dei professori appartenenti alla minoranza ebraica a seguito delle leggi razziali del 1938 (*recto*). (Archivio storico dell'Università di Torino, Corrispondenza, Carteggio 1938, fasc. 4.2: Personale in genere).

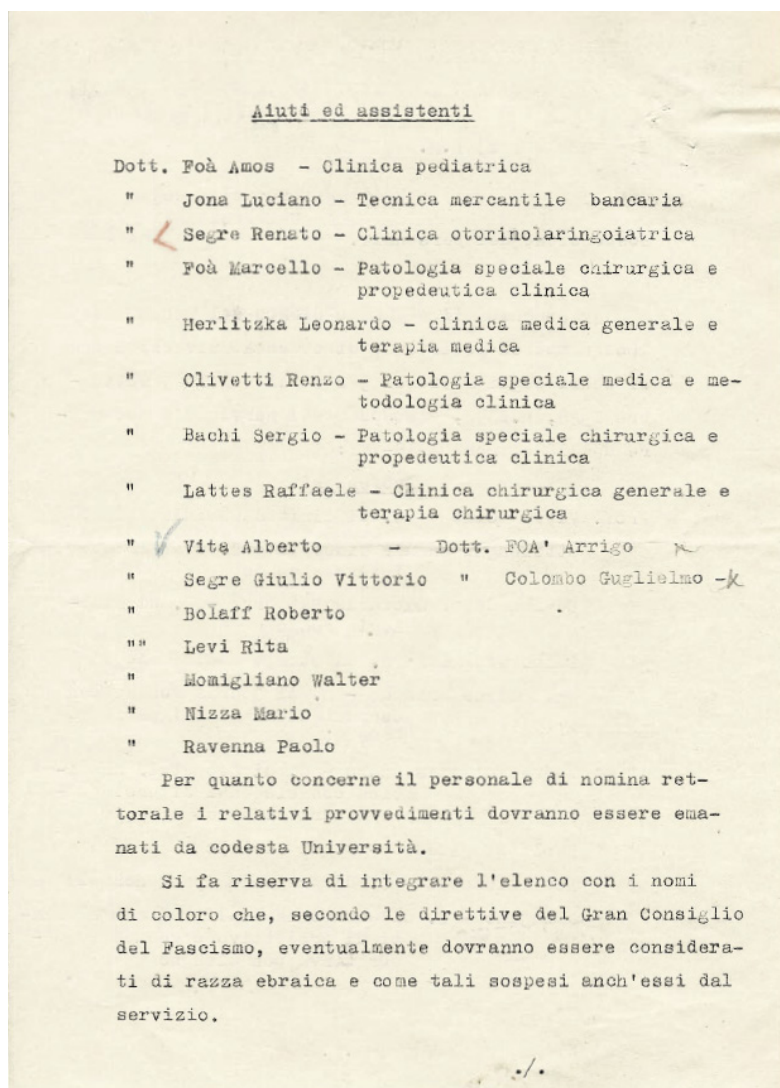


Fig. 10 b. Documento d'espulsione dall'Università di Torino (*verso*). (Archivio storico dell'Università di Torino, Corrispondenza, Carteggio 1938, fasc. 4.2: Personale in genere).

delle fibre nervose e i tessuti da innervare⁶⁹, sosteneva che il territorio periferico aveva un ruolo attivo nell'attrarre le fibre nervose, ovvero che le fibre nervose in crescita «sentivano» la dimensione e si comportavano di conseguenza⁷⁰. L'ipotesi che in questi anni di clandestinità Levi e Levi Montalcini mettono al vaglio è però diametralmente opposta: il territorio periferico sembrava rilasciare un fattore diffusibile che induceva la crescita delle fibre nervose. Hamburger aveva affrontato sperimentalmente il problema del rapporto fra lo sviluppo delle estremità (ali e zampe) e quello dei corrispondenti centri nervosi vertebrali nell'embrione di pollo, osservando che l'estirpazione delle estremità, in embrioni fino a 72 ore d'incubazione, comportava la degenerazione del tessuto nervoso (gangli spinali sensitivi, ma soprattutto motori) e aveva tentato una spiegazione qualitativa del fenomeno. Levi e Levi Montalcini ripresero il medesimo esperimento, ma con ipotesi e tecniche di laboratorio diverse. In primo luogo, essi impiegarono una tecnica di colorazione – l'impregnazione con nitrato d'argento, secondo la tecnica di Cajal-de Castro, rielaborata da Herta Meyer – che, contrariamente alla colorazione con metodo di Nissl impiegata da Hamburger, consentiva di distinguere nettamente le cellule nervose differenziate da quelle indifferenziate e dagli altri tipi cellulari presenti nel territorio. Poi, concentrarono la propria attenzione in modo particolare sui gangli sensitivi (dorsali), meglio evidenziati dalla colorazione e quindi più adatti a una valutazione quantitativa dei processi cellulari e, da ultimo, compirono osservazioni a diversi stadi, anzi che uno solo, come aveva fatto il ricercatore tedesco⁷¹. La diversità delle conclusioni dell'articolo dei due scienziati torinesi spinse Hamburger a scrivere una lettera Giuseppe Levi⁷² per offrire a Levi Montalcini, anche dietro sollecitazione di Luria⁷³, una borsa di alcuni mesi per verificare nel

⁶⁹ V. Hamburger, *The effects of wing bud extirpation on the development of the central nervous system in chick embryos*, in «J. Exp. Zool.», 1934, 68, pp. 449-494.

⁷⁰ P. Calissano, R. Levi Montalcini, *NGF. Dizionario Medico Treccani*, Istituto dell'Enciclopedia Italiana Treccani, Roma 2010.

⁷¹ E. Cattaneo, A. Grignolio, *Alla ricerca di Rita. Storia, scienza, umanità*, in Rita Levi Montalcini, *NGF. La molecola della vita*, Istituto dell'Enciclopedia Italiana Treccani, Roma 2019 pp. 7-38; A. Grignolio, F. De Sio, *Uno sconosciuto illustre: Giuseppe Levi tra scienza, antifascismo e premi Nobel*, in «Med. Sec.», 2009, 21 (3), pp. 847-913.

⁷² Una copia della lettera che Viktor Hamburger spedisce a Giuseppe Levi datata 8 luglio 1946 è posseduta da Antonino Cattaneo (e riprodotta in questo volume). Essa è stata per la prima volta presentata e discussa da Cattaneo il 7 maggio 2019 presso l'Accademia delle Scienze di Torino nel corso della Giornata di studi «Giuseppe Levi: maestro di Nobel, scienziato e antifascista», di cui pubblichiamo qui parzialmente gli atti.

⁷³ P. Calissano, *Rita Levi Montalcini, Renato Dulbecco, Salvador Luria: un trio formidabile*,

proprio laboratorio la correttezza di una delle due ipotesi. Con la partenza della Levi Montalcini verso St Louis cessa l'influenza di Levi e inizia la fase biochimica e poi molecolare della scoperta del NGF.

Capovolgendo l'ipotesi di precedenti esperimenti che usavano l'innesto di un tumore e la sua capacità di indurre proliferazione per avvalorare l'interpretazione «periferica», Levi Montalcini nel laboratorio di Hamburger dimostrò piuttosto che il tumore, seppur lontano e separato da una membrana, induceva la crescita delle fibre nervose verso di sé, provando che esso doveva liberare un fattore umorale diffusibile allora ignoto, che venne successivamente denominato *nerve growth promoting activity* e poi *nerve growth factor*. Decisa a sottoporre al vaglio istologico la natura diffusibile di questo fattore, Levi Montalcini tornò a usare le colture cellulari in vitro e l'analisi morfologico-quantitativa, due cavalli di battaglia del laboratorio torinese che, con le dovute differenze, furono utilizzati sia da Luria, che li applicò alla tecnica del *plaque count* sui fagi – seppur ibridando tale tecnica con le «stime alla Fermi» –, sia da Dulbecco, che applicò la *Plaque Technique* alla conta dei virus nelle cellule animali. Levi Montalcini, dunque, anziché valutare l'effetto del tumore sull'embrione, un protocollo che richiedeva 15-20 giorni di attesa, decise di utilizzare colture *in vitro* di gangli che, in 15-20 minuti, non solo mostravano una netta crescita di fibre nervose verso il tumore, ma rendevano possibile valutare quantitativamente l'entità delle fibre, e quindi il contenuto di NGF di una determinata sorgente. Tale solida ipotesi aveva tuttavia bisogno di un nuovo modello sperimentale per essere validata, ovvero di una dimostrazione in termini biochimico-molecolari. Inizia così, nel 1953, la collaborazione con il biochimico americano Stanley Cohen (1922-2020), il quale in prima istanza volle stabilire se l'azione del fattore di crescita era dovuto alla porzione proteica o nucleica del sarcoma, tentando di escludere la componente nucleica degradandola con il veleno di cobra. Cohen, in modo fortuito, si rese conto che l'irradiazione dei gangli era centuplicata rispetto al solo uso del tumore, segno che il veleno era una nuova, valida fonte di NGF. Il biochimico americano dopo aver isolato parzialmente l'NGF dal veleno di cobra scoprì che le ghiandole salivari di topo contenevano quantità di NGF ancora maggiori, divenendo da quel momento la fonte primaria di NGF⁷⁴. Nel 1986 a Levi Montalcini e Cohen

in M. Cattaneo (a cura di), *Scienziati d'Italia. Centocinquanta anni di ricerca e innovazione*, Codice Edizioni, Torino 2011, pp. 101-129.

⁷⁴ S. Cohen, R. Levi Montalcini, V. Hamburger, *A nerve growth-stimulating factor isolated from sarcomas 37 and 180*, in «Proc. Nat. Acad. Sci. USA», 1954, 40, pp. 1014-1018; S. Cohen, R. Levi Montalcini, *A nerve growth-stimulating factor isolated from snake venom*, in «Proc.

viene assegnato il Nobel «per la scoperta dei fattori di crescita», una nuova classe di messaggeri extracellulari, le neurotrofine, che hanno nell'NGF il loro capostipite. La caratterizzazione dell'NGF ha rappresentato, nelle parole del Premio Nobel Eric Kandel,

*l'inizio della esplorazione del sistema nervoso al livello molecolare [...], [riflettendo] una nuova alleanza tra la neuroembriologia e la moderna biochimica, in particolare la biochimica delle proteine*⁷⁵.

Sul finire degli anni Ottanta del Novecento, l'approccio della biologia molecolare ricongiunge dunque i tre allievi di Giuseppe Levi e i loro pur diversi campi del sapere biomedico. Un percorso che prende le mosse nel 1938 dall'esilio e dalle scelte disciplinari di Luria, ma che è anche segnato da motivazioni affettive, legate agli anni formativi condivisi presso il laboratorio di Levi, che si manifestano nei momenti difficili: sia nell'immediato dopoguerra, nell'incontro del trio a Torino nel 1946, sia nei primi anni dell'esilio americano di Dulbecco e Levi Montalcini, che vedrà i tre allievi incontrarsi ciclicamente per consigli e aiuti professionali nel Midwest. Lo stesso Levi nel 1950 farà tappa dagli allievi nel suo viaggio americano, e ancora nel 1957 Luria spedisce a Levi «con molti cordiali saluti e auguri» un manoscritto intitolato «*Protoplasmatologia*» che reca accanto al colophon la dedica dattiloscritta «to professor Levi on his 85th birthday, as a token of respect and affection»⁷⁶.

5. Conclusioni

La storia dei tre allievi Nobel di Giuseppe Levi suggerisce diverse considerazioni sul rapporto che lega il successo di una scoperta scientifica di un ricercatore con i suoi anni formativi.

Il ruolo del mentore è naturalmente centrale, come più volte riconosciuto dagli allievi e dalla storiografia. Levi è riuscito a trasmettere ai suoi studenti

Nat. Acad. Sci. USA», 1956, 42, pp. 571-574; S. Cohen, *Purification of a nerve-growth promoting protein from the mouse salivary gland and its neuro-cytotoxic antiserum*, in «Proc. Nat. Acad. Sci. USA», 1960, 46, pp. 302-311.

⁷⁵ E. Kandel, *The Origins of Modern Neuroscience*, in «Ann. Rev. Neuroscience», 1982, 5 (1), pp. 299-303, in part. p. 302.

⁷⁶ Inventario Archivio Storico dell'Istituto di Anatomia Umana Normale, «Opuscoli e Memorie», vol. 201-208, estratto CCV.

come tenere alto, e indissolubilmente legato, il rigore disciplinare e quello morale, come impostare correttamente un esperimento, come scrivere e incentivare le pubblicazioni scientifiche, come alternare severità e incoraggiamento nei giudizi sugli allievi, ma seppe anche trasmettere almeno due tecniche, radicate nella tradizione locale del laboratorio torinese, che saranno di qualche utilità negli anni dell'esilio americano: la tecnica delle culture cellulari *in vitro* che Levi adoperava con un approccio morfologico-quantitativo⁷⁷ e la tecnica dell'impregnazione argentea Cajal-de Castro.

Inoltre, rispetto alla maggior parte dei loro colleghi statunitensi, compresi i padri fondatori della biologia molecolare, provenienti da una formazione in fisica o biologia, i tre allievi torinesi hanno una formazione medica, dunque meno rigorosa ma più organica nell'affrontare i problemi biologici, sebbene Luria e Dulbecco compenseranno questa mancanza dedicando gli anni post laurea allo studio della fisica.

Negletto dagli allievi e dalla storiografia è invece il ruolo della rete di rapporti con colleghi e istituzioni di cui Levi godeva in ambito internazionale. Centrali in questo senso sono stati per il trio i rapporti con Rasetti, Hamburger e quelli con la Fondazione Rockefeller. A questa dimensione locale va ascritta anche l'appartenenza alla minoranza ebraica di Levi, Luria, Levi Montalcini e di altri membri del laboratorio torinese, che nei difficili anni delle restrizioni dei diritti inferte dal fascismo si manifesta con un comune antifascismo e una coraggiosa disponibilità all'avventura umana e lavorativa capace di trasformare i vincoli in occasioni professionali⁷⁸.

Se tuttavia queste storie locali riescono ad accordarsi con i grandi eventi politici, istituzionali e disciplinari di quegli anni lo si deve principalmente a Salvatore Luria, l'unico scienziato ad aver frequentato, rappresentandone in qualche modo una sintesi, le due «scuole di premi Nobel» italiane: quella di Levi a Torino e quella di fisica atomica fondata da Fermi a Roma. Egli, grazie a Levi e Fano, entra in contatto con Rasetti che lo introduce alla radiogenetica e agli scritti di Delbrück e dopo un biennio parigino si trasferisce negli Usa dove in pochi anni, grazie alla fondazione della «scuola

⁷⁷ A tal proposito, particolarmente lucido è il commento del collega degli anni fiorentini di Levi, Davide Carazzi: «Il Levi [...] anche nelle sue prime osservazioni sulle cellule coltivate in vitro pareva non dovesse abbandonare l'indirizzo prettamente morfologico», cfr. D. Carazzi, *Rivista Critica. Costituzione del protoplasma e strutture cellulari. Levi, Giuseppe*, in «Rass. Sci. Biol.», 1919, 8, pp. 116-126. Per una ricostruzione storica di tale tecnica cfr. A. Grignolio, F. De Sio, *Uno sconosciuto illustre: Giuseppe Levi tra scienza, antifascismo e premi Nobel*, cit.

⁷⁸ L'antifascismo ovviamente fu proprio anche degli allievi non ebrei, esemplare il caso di Amprino, cfr. G. De Luna, *Anatomia della Resistenza. Giuseppe Levi e i documenti nascosti tra scheletri e reperti all'Università di Torino*, in «La Stampa», 15/4/2008, p. 49.

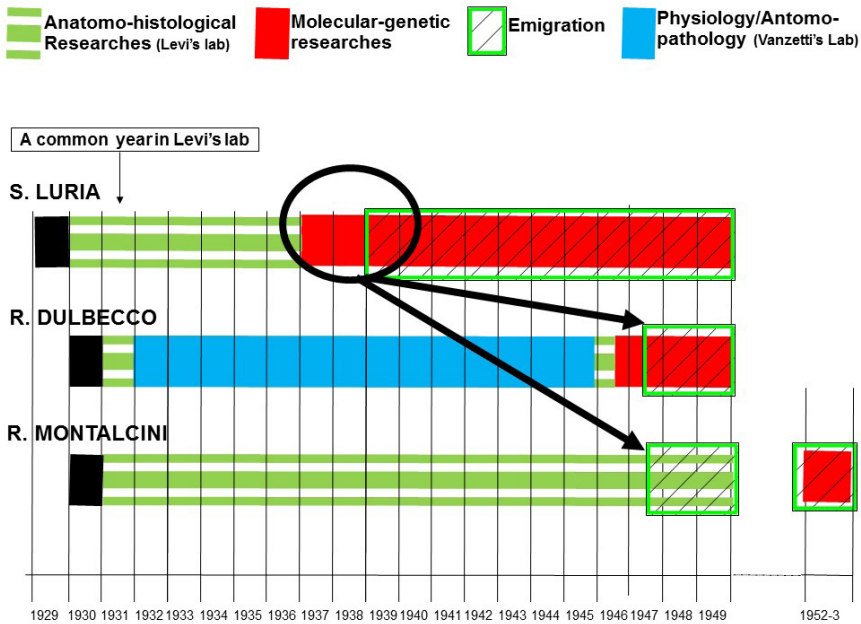


Fig. 11. L'attività scientifica nel laboratorio di Levi nel corso degli anni.

Biographical and institutional interconnections in the diaspora of the three Nobel students

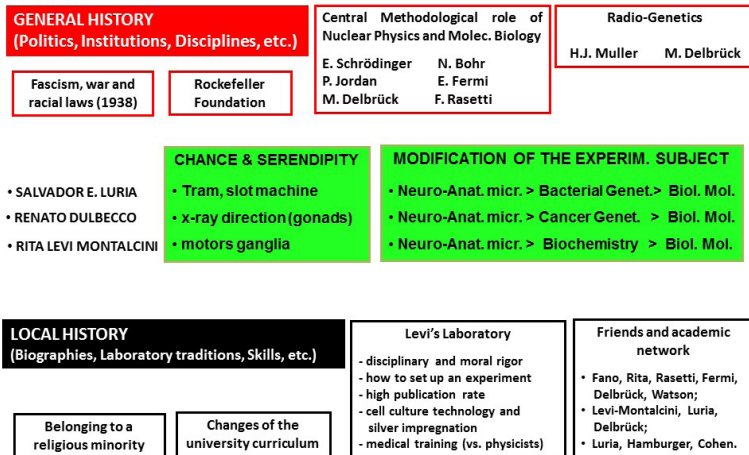


Fig. 12. La diaspora dei tre scienziati Luria, Dulbecco e Montalcini.

del fago» e alla scoperta della struttura del DNA da parte del suo allievo Watson, diventa uno dei padri fondatori della biologica molecolare.

È nel decennio chiave 1937-47 che Luria getta le fondamenta della biologia molecolare attraverso la genetica batterica, ispira le scelte disciplinari degli ex compagni di corso rimasti a Torino attraverso il carteggio con Levi Montalcini e ne facilita il trasferimento nei laboratori americani (fig. 11).

Nell'accordo tra storia locale e storia generale un ruolo centrale lo ha inevitabilmente giocato anche il caso, come dimostrano i diversi cambi nei piani di studio degli allievi che hanno indirizzato casualmente le ricerche sui binari corretti, nonché la serendipità con cui sono avvenute alcune loro scoperte chiave. Luria scopre i fagi, l'oggetto sperimentale su cui costruisce la sua carriera, grazie a un incontro avvenuto sul tram, come pure intuisce l'esperimento che gli varrà il Nobel osservando una slot machine durante un rinfresco accademico. Dulbecco si avvicina alla radiogenetica puntando casualmente l'ago di radium sulle gonadi del pollo anziché su altre strutture anatomiche. Levi Montalcini usa invece una tecnica di colorazione che metterà in evidenza alcuni specifici gangli utili alla scoperta del NGF.

Ancor più del caso un ruolo determinante per il successo dei tre allievi lo ha giocato la molecolarizzazione del sapere biomedico. In momenti diversi e in discipline diverse, i tre allievi Nobel di Levi hanno saputo intuire l'importanza della spiegazione molecolare nel proprio campo disciplinare, in quello genetico Luria e Dulbecco e in quello neuroscientifico Levi Montalcini, riconducendo la propria scoperta, sia essa la genetica batterica, la virologia oncologica o i fattori neurotrofici, nel più produttivo e vincente paradigma scientifico della propria epoca (fig. 12).

CENNI SULLE ADUNANZE

(a.a. 2019-2020)

ADUNANZE DELLE CLASSI UNITE

Partecipano i soli soci nazionali

Adunanza del 30 aprile 2020

Presidenza del Prof. Massimo Mori

Risultano collegati alla riunione telematica i Soci nazionali residenti: Bagnasco, Bonfante, Bosia, Cambiano, Castelli, Coluccia, Conte, Contini, Cottino, Di Benedetto, Doglio, Ferrari, Firpo, Genta, Gianotti, Gorla, Meo, Mezzalama, Mori, Mortara Garavelli, Pandolfi, Pastrone, Pene Vidari, Pestelli, Piazza, Remotti, Roccati, Ronchi della Rocca, Ruffinatto, Salvadori. I Soci nazionali non residenti: Cinquini, Dal Piaz, Ferraris, Oberti, Serianni.

1. Approvazione del verbale dell'adunanza del 21 ottobre 2019

Il verbale dell'adunanza del 21 ottobre 2019 è approvato all'unanimità, con la sola astensione dei soci assenti a tale seduta.

2. Presentazione, discussione e approvazione del bilancio consuntivo dell'esercizio 2019 e dei bilanci dei premi a esso allegati

Il Presidente illustra le ragioni per cui la documentazione relativa al bilancio consuntivo e al bilancio dei premi non è corredata del parere del Collegio dei Revisori dei Conti, secondo quanto prescrive l'art. 24 dello Statuto. Ancorché i bilanci siano stati debitamente e tempestivamente inviati ai Revisori in servizio, il Revisore in rappresentanza del MIBACT e il responsabile del suo Ufficio hanno ritenuto che il Collegio non possa regolarmente procedere all'esame dei bilanci in una condizione di incompleta composizione, risultando ancora vacante il posto del rappresentante del Ministero dell'Economia e delle Finanze.

Il Presidente espone tuttavia le ragioni per cui le Classi Unite devono comunque procedere all'approvazione dei bilanci anche in assenza del parere del Collegio: i) le Classi Unite sono tenute all'approvazione dei bilanci entro il 30 aprile sia in base allo Statuto (art. 38) sia in base alla normativa generale;

ii) gli artt. 24 e 27 dello Statuto non prevedono che il parere del Collegio dei Revisori abbia carattere vincolante; iii) l'Accademia delle Scienze ha provveduto a sollecitare ripetutamente con lettera raccomandata il Ministero dell'Economia e delle Finanze, mettendolo in mora relativamente alla designazione del suo rappresentante in seno al Collegio. Allorché si sia proceduto all'integrazione della composizione del Collegio e alla conseguente espressione del parere sui bilanci, l'Accademia prenderà tuttavia nella dovuta considerazione le osservazioni eventualmente comunicate dai Revisori.

Il Presidente dà quindi la parola al Tesoriere che illustra il bilancio consuntivo dell'esercizio 2019 e il bilancio dei premi ad esso allegato. Il Tesoriere ricorda che si tratta di un bilancio di competenza che lo Statuto affida alla valutazione delle Classi Unite.

Il Tesoriere illustra sinteticamente i punti essenziali del consuntivo. Il totale degli oneri ammonta a 842.809,44 €, a fronte di un totale dei proventi pari a 871.332,00 €. Il risultato economico dell'esercizio 2019 risulta positivo per 28.522 €. Tale avanzo, va essenzialmente posto in relazione alle minori attività istituzionali e generali che l'Accademia delle Scienze, prudenzialmente, ha dovuto progettare e realizzare nel corso dell'esercizio 2019, stante la carenza di adeguate informazioni, nel corso della gestione, sulla spettanza e l'ammontare di alcuni importanti introiti di fonte pubblica e, in primo luogo, dei contributi di funzionamento per gli anni 2018 e 2019 concessi dal MIUR nell'ambito della Tabella triennale 2018-2020, approvata con D.M. n. 718 del 5 agosto 2019, registrato alla Corte dei conti in data 11 settembre 2019 e successivamente comunicato all'Accademia. Tale avanzo può essere considerato come fondo di accantonamento precauzionale in vista delle minori entrate prevedibili per gli anni 2020 in conseguenza delle due seguenti circostanze: 1) a causa dell'emergenza sanitaria, per mancati introiti derivanti da locazione dei locali dell'Accademia o per la necessità di sanificare gli stessi; 2) per il rinnovo nel 2020 delle tabelle triennali ministeriali di finanziamenti delle attività culturali – i cui termini sono stati posticipati – che potrà comportare un ritardo nelle prossime erogazioni.

In conclusione, si propone all'Assemblea delle Classi unite l'approvazione del presente bilancio consuntivo 2019, destinando il risultato gestionale positivo conseguito di 28.522 € ai futuri esercizi.

Il Tesoriere illustra inoltre il bilancio dei premi, confrontando per ciascuno di essi l'importo disponibile al 01.01.2019 con il consuntivo al 31.12. 2019.

Si propone pertanto anche l'approvazione del bilancio dei premi.

Il Presidente pone in approvazione disgiuntamente il bilancio consuntivo

dell'esercizio 2019 e il bilancio dei premi. L'assemblea delle Classi unite approva all'unanimità sia il bilancio consuntivo sia il bilancio dei premi.

Il verbale del presente punto 3) dell'ordine del giorno viene approvato all'unanimità.

Il Segretario
Daniele Castelli

Il Direttore
Massimo Mori

Adunanza del 19 ottobre 2020

Sono presenti i Soci nazionali residenti della Classe di Scienze fisiche: Bonfante, Bosia, Castelli, Civalieri, Coluccia, Compagnoni, Conte, Ferrari, Genta, Lolli, Lovisolo, Marzari Chiesa, Mezzalama, Pandolfi, Pastrone, Piazza, Ronchi Della Rocca, Zecchina, Zich; i Soci nazionali residenti della Classe di Scienze morali: Cottino, Dogliani, Doglio, Filoramo, Gianotti, Goria, Marazzini, Marchionatti, Mori, Pene Vidari, Remotti, Roccati, Rossi, Salvadori, Zunino; nonché il Socio nazionale non residente della Classe di Scienze morali: Cavalli e il Socio nazionale non residente della Classe di Scienze fisiche: Cinquini.

1. Comunicazioni

Il Presidente ricorda come la valorizzazione della divulgazione dei saperi anche attraverso la collaborazione con gli Enti locali sia stata fortemente ridimensionata dalla situazione pandemica. Alla ripresa dopo la pausa estiva è stato possibile realizzare il Convegno dedicato a Pietro Chiodi, mentre il Convegno per il centesimo anniversario della morte di Max Weber, previsto per il 5-6 novembre, dovrà essere sospeso a causa delle recenti disposizioni governative. Poiché il Convegno era anche motivo per festeggiare i novant'anni del Socio Pietro Rossi, il Presidente e l'assemblea tutta colgono comunque l'occasione odierna per esprimergli felicitazioni e auguri.

Per quanto riguarda le altre iniziative, il ciclo Scienze&Salute (organizzato con l'Accademia di Medicina e già interrotto a fine febbraio dopo tre conferenze) continuerà a porte chiuse e sarà diffuso in streaming, mentre il ciclo di incontri organizzato in collaborazione con l'Ordine dei giornalisti dovrà probabilmente essere posticipato. Il Presidente si rammarica infine per il ciclo dedicato alle celebrazioni dantesche: il folto programma, predisposto grazie alle numerose collaborazioni di Enti locali, dovrà essere fortemente limitato.

2. Approvazione del verbale dell'adunanza del 30 aprile 2020

Il verbale dell'adunanza del 30 aprile 2020 è approvato all'unanimità, con la sola astensione dei soci assenti a tale seduta.

3. Determinazione dei premi da bandire per il 2021

Il Presidente comunica che la Commissione Premi ha proposto di bandire seguenti premi: Ferrari Soave, nazionale, per la Biologia animale; Gili Agostinelli, internazionale, per la Meccanica Pura o Applicata o per la Fisica Matematica classica. Sulla base della Convenzione in essere, è inoltre previsto il bando del Premio Burzio, subordinatamente all'approvazione della Fondazione stessa.

Le Classi unite, unanimi, approvano.

4. Presentazione, discussione e approvazione del bilancio preventivo dell'esercizio 2021 e dei bilanci dei premi ad esso allegati

Il Presidente illustra il bilancio preventivo dell'esercizio 2021, dando lettura della relazione di accompagnamento: il bilancio si presenta con un profilo economico negativo (-198.345 €). Questo risultato è dovuto alla modalità estremamente cautelativa con cui è stato compilato il bilancio, in conseguenza dell'attuale assenza di informazioni su diversi proventi relativi all'esercizio 2021, tra cui alcuni significativi contributi 'liberi' dello Stato (tabelle triennali 2020-2022 MIUR e MIBACT) e degli Enti locali (tabella triennale 2021-2023 Regione Piemonte), ordinariamente concessi all'Accademia nei trascorsi esercizi ma non ancora certificati per il 2021. Il Consiglio di Presidenza continuerà comunque nell'opera di contenimento dei costi e di acquisizione di nuove risorse, già positivamente avviata negli ultimi anni, con l'obiettivo di giungere nei tempi più brevi possibili al pareggio economico per l'esercizio 2021.

Il Presidente passa, quindi, ad esporre la situazione finanziaria dei singoli Premi, tenendo conto dell'importo dei premi banditi nel 2020 e degli interessi maturati alla data del 30 settembre 2020.

Il Presidente ricorda infine che tutti i Soci hanno ricevuto la relazione del Collegio dei Revisori dei Conti sul bilancio preventivo 2021, sulla quale il Collegio ha espresso parere favorevole.

Il Presidente mette ai voti il bilancio dell'Accademia, che viene approvato all'unanimità. Il Presidente mette successivamente ai voti il bilancio premi, che viene approvato all'unanimità.

Il verbale del presente punto dell'ordine del giorno viene approvato all'unanimità seduta stante.

5. Esame delle proposte delle Commissioni consultive

Il Presidente dà lettura dei verbali delle Commissioni:

Commissione Pubblicazioni. Dopo il consueto aggiornamento della situazione (si segnala l'uscita imminente del Quaderno "Allea" e degli «Atti morali»), la Commissione procede a ridefinire il programma dell'anno in corso, una necessità emersa in seguito all'inserimento di tre e-book non previsti e richiesti in primavera per ovviare alla chiusura seguita all'epidemia. Si stabilisce dunque di dare priorità al volume 42-43 (2018-2019) delle «Memorie della Classe di Scienze fisiche» contenente un testo di Sergio Benenti, al quaderno *Alessandro Terracini (1889-1968) a cinquant'anni dalla morte*, a cura di Livia Giacardi e Alberto Conte, e al quaderno *Il valore della fisica. Enrico Persico (1900-1969)*, a cura di Vincenzo Barone.

Commissione Biblioteca. La Commissione prende atto di come l'attività della biblioteca sia stata rimodulata in seguito alla pandemia e al conseguente *smart working* del personale. Suggerisce di continuare la messa online degli «Atti» e delle «Memorie» in modo da poterli rendere più fruibili al pubblico. Prende inoltre atto della conclusione delle attività di catalogazione del fondo Millon e Galletto. Per quanto concerne la situazione critica dei libri collocati nei depositi interrati a causa della contaminazione fungina, suggerisce la modalità di intervento (in loco, con abbassamento progressivo dell'umidità relativa sino al 30% e trattamento sperimentale con *tea tree oil* cui si andrà ad aggiungere la fumigazione).

Commissione Archivio. La Commissione, preso atto degli interventi avviati nell'ultimo anno e di come sia stata rimodulata l'attività in seguito alla pandemia, propone per ciò che concerne i rimanenti mesi del 2020: a) di valutare quanto prima il costo della digitalizzazione non solo delle diapositive ma anche delle fotografie ritenute più significative per ricostruire l'attività scientifica del compianto Socio Millon e procedere di conseguenza alle possibilità dell'Accademia anche in previsione di un eventuale avanzo di bilancio 2020; b) di proporre alle prossime Classi Unite un nuovo regolamento per l'accesso ai servizi erogati dall'Archivio. Per gli oneri da inserire in bilancio preventivo 2021 propone altresì di continuare la collaborazione con la dott.ssa Tealdi per la schedatura più articolata del fondo Millon (€ 3.500) e inoltre di affidare un ulteriore contratto di collaborazione editoriale al dott. Caterino (€ 3.500). La Commissione ritiene infine unanimemente utile la proposta di istituire una borsa di studio che possa permettere una maggiore visibilità anche internazionale dell'Archivio e della preziosa documentazione conservata. A tal fine si rende disponibile a incontrarsi per definire modalità e tempi.

Commissione Premi. Le proposte della Commissione sui premi da bandire per il 2021 sono già state esaminate. Il Presidente comunica inoltre che la Commissione Premi ha proposto che le spese di amministrazione dei premi per l'anno in corso siano determinate forfettariamente in una cifra pari all'1,0% della consistenza del patrimonio dei premi al 31.12.2019. La proposta è stata trasmessa al Consiglio di Presidenza che, al pari dello scorso anno, ha deliberato di mantenere all'1,0% il costo di gestione dei premi a favore dell'Accademia.

6. Approvazione del nuovo regolamento dell'Archivio

Il Presidente illustra le modifiche apportate al regolamento dell'Archivio. Le Classi unite, unanimi, approvano.

7. Approvazione delle relazioni delle Commissioni giudicatrici dei Premi Gili Agostinelli, Panetti Ferrari, Herlitzka e Martinetto banditi per il 2020

Il Presidente dà lettura delle proposte delle commissioni giudicatrici:

– Premio Gili Agostinelli a Francis Martin (Direttore del Laboratorio di Eccellenza ARBRE e Distinguished Professor alla Forestry University di Pechino), proposta dalla Commissione all'unanimità;

– Premio Panetti Ferrari a Andro Mikelic (Università di Lione), proposta dalla Commissione all'unanimità;

– Premio Herlitzka a Fabio Benfenati (Professore Ordinario di Neurofisiologia presso la Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche dell'Università di Genova e Direttore di ricerca dell'Istituto Italiano di Tecnologia dal 2006), proposta dalla Commissione all'unanimità;

– Premio Martinetto ad Anita Calcatelli, proposta dalla Commissione a maggioranza.

Le Classi unite, unanimi, approvano l'attribuzione dei premi Gili Agostinelli, Panetti Ferrari e Herlitzka; approvano, a maggioranza (2 contrari: Lolli e Cottino, e tre astenuti: Marazzini, Genta e Roccati), l'attribuzione del premio Martinetto.

8. Discussione della proposta dei Soci Cavalli e Cali

Il Socio Cavalli illustra la proposta che riguarda i problemi della crisi energetiche nel contesto delle iniziative che le accademie stanno sviluppando, in modo interdisciplinare, sui rapporti con l'ambiente. La costituzione di un gruppo multidisciplinare in Accademia potrebbe facilitare lo scambio tra le due Classi, superando le difficoltà di comunicazione tra discipline

scientifiche diverse, anche al fine di costruire un legame con l'opinione pubblica. I Direttori delle Classi sono pertanto invitati a mettere in discussione la proposta, in modo da rendere possibile definire, entro la fine di novembre, la composizione del Gruppo di lavoro. Comunica infine che diversi soci corrispondenti hanno segnalato la loro disponibilità.

Il Segretario
Daniele Castelli

Il Direttore
Massimo Mori

ADUNANZE DELLA CLASSE DI SCIENZE FISICHE, MATEMATICHE E NATURALI

Adunanza del 20 novembre 2019

Presidenza della Prof.ssa Amalia Bosia
Direttore della Classe

Sono presenti i Soci nazionali residenti: Bosia, Bottino, Carpinteri, Castelli, Civalleri, Chiorino, Compagnoni, Conte, Ferrari, Genta, Lolli, Meo, Mezzalama, Pandolfi, Pastrone, Peroni, Predazzi, Ronchi della Rocca; i Soci corrispondenti: Benenti, Forno, Marro, Minero, Onorato, Panella, Pavia, Pelizza, Piana, Rodino, Sella, Valabrega, Vellano.

1. Comunicazioni

Il Direttore comunica ai presenti la triste notizia della scomparsa del Socio Giovanni Barla, già Professore Ordinario di Meccanica delle rocce presso il Politecnico di Torino e *Honorary Professor* presso la Chongqing University e la Tianjin University.

2. Il Socio Ronchi della Rocca presenta il volume di Cinzia Ballesio e Giovanna Giordano «L'informatica al femminile. Storie sconosciute di donne che hanno cambiato il mondo», Neos Edizioni, 2019

Il Socio Ronchi della Rocca illustra il volume a cura di Cinzia Ballesio, storica, e di Giovanna Giordano, informatica, che sorprende e smentisce il mito dell'informatica al maschile. Il volume illustra numerose figure femminili e i loro importanti contributi nella storia dell'informatica, a partire da Ada Augusta Lovelace Byron, figlia di Lord Byron, che presenta proprio in Accademia la prima macchina per il calcolo. Seguono le donne calcolatrici («computer») nel periodo bellico della II Guerra mondiale; Grace Murray Hopper, inventore del linguaggio di programmazione COBOL; le donne che hanno contribuito allo sviluppo dell'ENIAC; Hedy Lamarr, che ha alternato l'interesse per l'ingegneria e le comunicazioni alla recitazione, ideatrice di un sistema di comunicazione che è alla base dell'attuale comunicazione wireless; Margaret Hamilton, realizzatrice della programmazione delle missioni Apollo, inclusa la procedura per il controllo degli errori (rivelatasi cruciale durante la fase di allunaggio di Apollo 11); Mary Keller, religiosa e inventrice del linguaggio BASIC e numerose altre figure.

Dal successivo vivace dibattito, cui partecipano le autrici e numerosi tra i Soci presenti, emerge come questo saggio metta da un lato in evidenza i perduranti pregiudizi sulla inferiorità scientifica delle donne (con conseguente difficoltà delle giovani ricercatrici ad avviare studi in alcuni ambiti scientifici, incluso quello dell'informatica), dall'altro la rilevanza dei loro contributi. Le figure femminili descritte si caratterizzano inoltre per una formazione non esclusivamente scientifica, ma presentano una vasta gamma di interessi di tipo culturale, sociale, ecc.; persone anticonformiste e contro corrente, spesso sostenute nelle loro passioni da un importante ambiente familiare.

3. *Programmazione delle commemorazioni da tenersi nell'anno accademico*

Il Direttore ricorda la necessità di programmare le commemorazioni dei Soci scomparsi: Giannantonio Pezzoli, Germain Rigault De La Longrais (per cui è già pervenuta la disponibilità del Socio Ferraris), Wolfgang Rindler e Luigi Salvadori.

4. *Proposte di iniziative per il triennio 2021-23*

Il Direttore segnala che, entro il 30 aprile 2020, l'Accademia dovrà presentare la richiesta per la tabella triennale MIBACT 2021-2023; entro quella data andrà quindi predisposto il programma di attività per il triennio tabellare. In merito alle prossime iniziative, il Socio Chiorino segnala, in occasione del 150° anniversario del Traforo del Frejus e per il solo 2021, di essere promotore dell'iniziativa «Dalla storia al presente, con uno sguardo al futuro»; l'iniziativa coinvolge Soci con diverse competenze (Dal Piaz, Pelizza, Sella).

5. *Omaggi*

Le autrici Cinzia Ballesio e Giovanna Giordano fanno dono del volume *L'informatica al femminile. Storie sconosciute di donne che hanno cambiato il mondo*.

6. *Varie ed eventuali*

Il Direttore ricorda il calendario delle prossime iniziative:

- «Al di là della morte. L'immortalità dell'anima nel pensiero occidentale». Giovedì 21 e venerdì 22 novembre.
- «L'automobile, un'opera d'arte in movimento». Lunedì 25 novembre (Ciclo sui Beni culturali).

- «Commemorazione di Carlo Augusto Viano». 28 novembre.
- «Seduta congiunta delle tre Accademie torinesi: la rivoluzione digitale».

3 dicembre.

- «Giuseppe Baretta scrittore europeo». 5 e 6 dicembre.
- «Torino 1937, Mostra del Barocco Piemontese. Una storia che riemerge». 16 dicembre (Ciclo sui Beni culturali)

Il Direttore comunica inoltre il programma definitivo del Ciclo Scienze&Salute, programmato da gennaio a maggio 2020:

28 gennaio – È possibile «Invecchiare senza invecchiare»?

4 febbraio – Politiche dell'invecchiamento e disuguaglianze su base sociale.

18 febbraio – Vaccini, vascello dell'intelligenza umana nella bufera del sospetto.

3 marzo – La Demenza: differenze di genere, prevenzione e cura.

17 marzo – Esiste una dieta per non invecchiare?

31 marzo – Demografia dell'invecchiamento.

21 aprile – Utilità e limiti delle protesi ortopediche.

5 maggio – Malattie cardio vascolari: differenze di genere, prevenzione e cura.

19 maggio – Farmaci: danni e vantaggi nell'anziano.

26 maggio – Genetica ed Epigenetica della longevità.

Non essendoci altre varie ed eventuali, la seduta è tolta alle 17.50.

Il Segretario
Daniele Castelli

Il Direttore
Amalia Bosia

Adunanza del 18 dicembre 2019

Presidenza della Prof.ssa Amalia Bosia
Direttrice della Classe

Sono presenti i Soci nazionali residenti: Bonfante, Bosia, Bottino, Castelli, Chiorino, Compagnoni, Conte, Pandolfi, Pastrone, Peroni, Piazza, Predazzi, Ronchi della Rocca, Sacchi, Zich; il Socio nazionale non residente Ferraris; i Soci corrispondenti: Arzarello, Carrera, Conti, Filippi, Germano, Giacardi, Lovisolo, Marro, Minero, Pavia, Rodino, Vellano, Venturello. Partecipa all'adunanza il Socio Mori, Presidente dell'Accademia.

1. Approvazione del verbale della seduta precedente

Il verbale della seduta del 20 novembre u.s. è approvato all'unanimità, con l'astensione dei Soci assenti a tale seduta.

2. Presentazione di nota. Presentatore Benenti: «Il teorema di Fermat apparteneva al suo secolo». Autore: S. Benenti.

Il Socio Benenti illustra la nota finalizzata a geometrizzare il problema di Fermat in modo da renderlo compatibile con la cultura matematica del '600. Ritiene infatti, considerata l'opera contemporanea di Cartesio, che sia più opportuno adottare nella dimostrazione un approccio geometrico-analitico, piuttosto che seguirne uno di tipo numerico-algebrico.

Interpretando l'equazione di Fermat come equazione di un doppio sistema di curve sul piano cartesiano, vengono discusse quattro tipi di curve caratteristiche, corrispondenti a quattro vie da seguire per giungere alla dimostrazione del teorema di Fermat.

La Direttrice ringrazia il Socio Benenti per l'interessante presentazione.

3. Conferenza del Socio Giovanni Ferraris «Cristalli misti vs. pesi atomici e tavola periodica degli elementi»

Prendendo spunto dal 150° anniversario della tavola periodica di Mendeleev, pubblicata per la prima volta nel 1869 sul «Zhurnal Russkago Khimicheskago Obshchestva», ricorda i precedenti lavori (tra cui quelli di Mitscherlich e Berzelius) che avevano permesso di definire una «prima» tabella dei pesi atomici, grazie al concetto di isomorfismo (cristalli misti), uno

dei più rilevanti contributi della Cristallografia al progredire della teoria atomica della materia.

Passa quindi ad illustrare sinteticamente i lavori di Mendeleev che, dopo aver considerato varie proprietà in base alle quali raggruppare gli elementi, ne adotta l'organizzazione in funzione del peso atomico, sia nel citato lavoro del 1869 (tradotto dal russo solo nel 1895), sia nel trattato *Principles of Chemistry* (1868-1871, ove una discussione sull'isomorfismo precede la Tavola). Forse conscio di essere stato ermetico nel 1869 e che il ponderoso trattato *Principles of Chemistry*, in russo, era di scarsa diffusione e non semplice da leggere, nel 1871 Mendeleev pubblicò un lungo articolo tradotto in tedesco (1872) e in francese (1879), ove riporta esempi di collocazione e previsione di elementi e di correzione dei pesi atomici usando il concetto di isomorfismo.

In merito a questo concetto, il Socio Ferraris conclude ricordando l'ignoto contributo di Ferruccio Zambonini (professore di Mineralogia a Torino e successivamente di Chimica a Napoli nonché socio dell'Accademia) che nel 1923 discute le modalità di sostituzione cationica nella soluzione solida albite-anortite.

La Direttrice ringrazia il Socio Ferraris per l'interessante conferenza.

4. *Varie ed eventuali*

La Direttrice presenta i premi banditi dall'Accademia dei Lincei come da comunicazione pervenuta il 16/12 u.s.: Premio Linceo per l'Astronomia, di € 10.000; Quattro Premi Internazionali «Prof. Luigi Tartufari», destinati rispettivamente: alla Matematica; alla Fisica-Chimica; alle Geoscienze; alle Scienze biologiche; di € 25.000 ciascuno; Premio Nazionale «Cataldo Agostinelli e Angiola Gili Agostinelli» destinato a un Ente di alto valore morale e umanitario, di € 15.000; Premio «Maria Teresa Messori Roncaglia ed Eugenio Mari» destinato ad uno Scienziato, di € 10.000.

Come anticipato nella scorsa seduta, la Direttrice ricorda che, entro il 30 aprile p.v., l'Accademia deve presentare la richiesta per la tabella triennale MiBACT 2021-2023.

La Direttrice ricorda gli appuntamenti previsti nell'ambito de «I Mercoledì dell'Accademia» per l'anno 2020: 22 gennaio: Alessandro Roccati, *In Egitto duecento anni fa: Drovetti e Vidua alle origini del Museo egiziano*; 29 gennaio: Bruno Panella, *L'energia nucleare nel contesto energetico*; 5 febbraio: Loredana Sciolla, *Il «noi» assente. Di quanta comunità hanno bisogno le società complesse?*; 19 febbraio: Lucia Caporaso, *Varietà di varietà: la classificazione nella geometria algebrica*; 26 febbraio: Bruno Contini, *Perché è*

così difficile fare funzionare il mercato del lavoro; 4 marzo: Maria Gabriella Forno, *Quando a Torino non vi era ancora il Po*; 18 marzo: Walter Meliga, *Trovatori a Firenze*; 25 marzo: Simona Ronchi della Rocca, *Problemi facili, difficili, impossibili...*; 1° aprile: Lucio Bertelli, *La «città auspicabile» di Aristotele: un'utopia realistica?*

La Direttrice ricorda inoltre le iniziative previste nel mese di gennaio: 20 gennaio: *Culture, società, ambiente. Storie di persone, vallate e ghiacciai nei fondi fotografici della Fondazione Sella*, terzo incontro del III Ciclo «I Beni culturali tra valorizzazione, restauro e conservazione»; 23-24 gennaio: Convegno Accademia delle Scienze di Torino e Accademia Nazionale dei Lincei su *L'eredità scientifica e culturale di Luca L. Cavalli-Sforza*; 28 gennaio: prima conferenza del ciclo: «Scienze&Salute. Longevità e senescenza: come invecchiare in salute».

5. All European Academies Madame de Staël Prize

Il Socio Mori comunica di aver ricevuto dall'ALLEA la richiesta di candidatura per attribuire il premio «Madame de Staël Prize» destinato a studiosi o intellettuali il cui lavoro abbia rappresentato un contributo significativo ai valori culturali dell'Europa.

Il Presidente precisa che negli anni precedenti tale premio era stato presentato solamente alla Classe di Scienze morali poiché le materie di assegnazione erano esclusivamente discipline umanistiche. Da quest'anno, invece, le proposte possono riguardare anche ricerche o lavori di natura interdisciplinare. Le eventuali proposte potranno essere discusse nella seduta di gennaio.

Il Segretario
Daniele Castelli

Il Direttore
Amalia Bosia

Adunanza del 15 gennaio 2020

Presidenza della Prof.ssa Amalia Bosia
Direttrice della Classe

Sono presenti i Soci nazionali residenti: Bonfante, Bosia, Bottino, Carpinteri, Castelli, Civalleri, Chiorino, Compagnoni, Conte, Ferrari, Genta, Meo, Mezzalama, Pandolfi, Pastrone, Piazza, Sacchi, Zecchina, Zich; i Soci nazionali non residenti: Cinquini, Ferraris; i Soci corrispondenti: Andretta, Barasa, Benenti, Calderale, Diaferio, Filippi, Fubini, Germano, Giacardi, Gliozzi, Lovisolo, Marro, Minero, Panella, Pavia, Pelizza, Rodino, Sella, Valabrega.

1. Commemorazione del Socio Rindler da parte del Socio Gliozzi

La Direttrice dà la parola al Socio Gliozzi che illustra la figura del fisico relativista Wolfgang Rindler, scomparso l'8 febbraio 2019. Seguono alcuni commenti, da cui emerge l'interesse sulle possibili relazioni tra Tullio Regge e lo stesso Rindler.

2. Comunicazioni

La Direttrice ricorda la scadenza dei seguenti bandi: i) Premio Jeantet (scadenza 24 febbraio p.v.); ii) Premi Balzan (scadenza 15 marzo p.v.), con due sottotemi: dinamica del sistema Terra e sfide ambientali, Scienza dei materiali per le energie rinnovabili.

Per entrambi i premi la discussione avverrà nella seduta di Classe del 12 febbraio p.v.

3. Approvazione del verbale della seduta precedente

Il verbale della seduta del 18 dicembre 2019 viene approvato all'unanimità, con l'astensione dei Soci assenti a tale seduta.

4. Dibattito sulle modalità di discussione scientifica all'interno della Classe

La Direttrice introduce un elenco di temi che l'intera Classe, nello scorso anno accademico, ha sostenuto essere di notevole rilevanza, oltre che per gli aspetti tecnico-scientifici specifici, per le loro evidenti ricadute in differenti ambiti:

- A che serve la scienza? (la rilevanza delle competenze, il diritto alla conoscenza e al beneficio derivante dalle scoperte scientifiche).
- Le difficoltà della scienza (l'indipendenza e i sistemi di finanziamento, la riproducibilità dei risultati, l'interdisciplinarietà delle ricerche, le discriminazioni (es. di genere).
- Le tecnologie emergenti (es. diagnostica per la medicina di precisione, produzione di carne da staminali, cellule impiantabili produttrici di farmaci, tecniche di editing genetico..).
- Il pensiero antiscientifico e la crisi di fiducia (es. le distorsioni cognitive sul cambiamento climatico, sulla validità della teoria della selezione naturale, sul miglioramento genetico delle piante coltivate, ecc..).
- Psicofarmaci, droghe e tossicodipendenze.
- Medicina, farmacologia e identità di genere.
- La comunicazione digitale della scienza, che ha cambiato il rapporto tra «gli esperti» e il pubblico.
- Il valore dei fatti, della trasparenza e della responsabilità nella comunicazione scientifica.
- Cronologia delle conquiste di scienza e tecnologia negli ultimi cinquanta anni.
- Costo delle disuguaglianze (di degrado ambientale, di benessere economico, di salute, di Vaccini. Gli europei credono nella loro efficacia ma ne hanno paura. E gli italiani? Un po' meno fiduciosi, e diffidenti sugli effetti collaterali.
- Che cosa serve per trasformare una innovazione in una terapia.
- Le innovazioni nel campo dell'immunoterapia con particolare riferimento a quella oncologica.
- Innovazione digitale e nuove competenze nel settore farmaceutico.
- L'influenza dell'evoluzione tecnologica in campo chirurgico.
- Correggere e risolvere il genoma umano: applicazioni e problemi etici.
- Conoscere la gelotologia (dal greco γελός=riso e logos=scienza).

Benché molti siano comparsi in iniziative di Soci, questi temi non sono purtroppo stati oggetto di una auspicata e approfondita discussione. In futuro, la discussione potrebbe svilupparsi nell'ambito delle diverse iniziative dell'Accademia (quali, ad esempio, i corsi formazione, i Mercoledì dell'Accademia, il ciclo Scienza e salute, ecc.) o con altre modalità che ne favoriscano l'analisi direttamente nel corso delle sedute di Classe.

Si apre una ampia discussione cui partecipano numerosi del Soci presenti.

Il Socio Chiorino approva la prospettiva di una discussione che, oltre che essere scientifica, deve considerare anche i risvolti sociali e riprende una sua precedente proposta di svolgere aggiornamenti tematici periodici che, coordinati dai Soci nazionali, consentano una ampia e fattiva partecipazione dei Soci corrispondenti. Il Socio Zecchina, evidenziando come la diffusione del sapere sia un punto centrale della «missione» dell'Accademia, si interroga su chi debbano essere i destinatari/fruitori di queste analisi e discussioni tematiche; su questo aspetto concordano i Soci Ferraris e Lovisolo, che citano alcuni esempi di divulgazione già messi in atto dall'Accademia.

Il Socio Ferraris sottolinea l'importanza della interdisciplinarietà per le accademie, non solo per quanto riguarda i diversi settori di in una classe, ma anche – e principalmente – tra le classi. In proposito, ricorda la vecchia proposta di riunioni almeno in parte congiunte tra le classi. Entrando più nel merito dei temi, il Socio Benenti propone temi di interesse per entrambe le classi, quali la durata della vista sulla Terra, della Terra stessa, del sistema solare, ecc.

La Direttrice, cogliendo le sollecitazioni emerse e l'auspicio per attività interclasse, invita a formulare proposte più articolate e dettagliate; cita inoltre le proposte già formulate da parte dei Soci:

- Bonfante: propone una o più conferenze sulla politica energetica europea.
- Palmieri: propone l'organizzazione di due conferenze su 1) *Intracellular transport of proteins and their import into mitochondria* (Prof. Nikolaus Pfanner, Università di Freiburg, Germania); 2) *Energetic coupling between plastids and mitochondria in diatoms* (Prof. Giovanni Finazzi, Università di Grenoble, Francia).
- Zecchina: propone due temi interdisciplinari, da sviluppare/articolare nel programma triennale: *Dalla nucleosintesi all'origine della vita* e *Le molecole psicoattive nella storia*.
- Lovisolo: a breve termine, suggerisce la presentazione di un testo in uscita da Einaudi *Prevenire manifesto per una tecno-politica*, si sta verificando la disponibilità degli autori. Più a lungo termine, segnala che nel settembre 2021, si svolgerà a Torino il convegno della Società Europea di Filosofia della Scienza che dovrebbe vedere attivamente coinvolta l'Accademia.
- Meo e Mezzalama: propongono una iniziativa sul *machine learning*, visti i risvolti non solo scientifici, ma anche giuridici, etici, ecc. A breve verrà presentato un documento al fine di un eventuale inserimento nel piano triennale in fase di predisposizione.
- Filippi: propone il prolungamento del ciclo dedicato alla conservazione, valorizzazione e restauro dei beni culturali.

5. *Proposte per l'All European Academies Madame de Staël Prize for Cultural Values*

In merito al Premio in parola, la Direttrice ricorda che: «The Prize recognizes researchers or intellectuals whose work represents a significant impact to the the advancement of Europe [...]. A laureate's work is ideally of interdisciplinary nature and exhibits a remarkable and demonstrable contribution to existing and emerging common European values, or the processes behind European integration and identity». Per questo motivo, anche la nostra Classe è direttamente coinvolta. Ricorda inoltre che la scadenza di ALLEA per la presentazione delle candidature è fissata per il 14 febbraio p.v.; la documentazione richiesta è costituita da una lettera di motivazione, CV aggiornato e bibliografia.

6. *Varie ed eventuali*

La Direttrice ricorda i prossimi appuntamenti:

- *Culture, società, ambiente: storie di persone, vallate e ghiacciai nei fondi fotografici della Fondazione Sella*, 20 gennaio, ore 16.00 (ciclo I Beni culturali tra valorizzazione, restauro e conservazione).
- *In Egitto duecento anni fa: Drovetti e Vidua alle origini del «Museo egiziano»*, Alessandro Roccati – I Mercoledì dell'Accademia, 22 gennaio, ore 17.00.
- *L'eredità scientifica e culturale di Luigi Luca Cavalli-Sforza*, 23 gennaio, ore 14.30 e 24, ore 9.30.
- *È possibile Invecchiare senza invecchiare?*, Giancarlo Isaia e Piero Bianucci – Scienze&Salute. Longevità e senescenza: come invecchiare in salute, 28 gennaio, ore 16.00.
- *L'energia nucleare nel contesto energetico*, Bruno Panella – I Mercoledì dell'Accademia, 29 gennaio, ore 17.00.
- *Politiche dell'invecchiamento e disuguaglianze su base sociale*, Valeria Cappellato ed Eugenia Mercuri – Scienze&Salute. Longevità e senescenza: come invecchiare in salute, 4 febbraio, ore 16.00.
- *Il «noi» assente. Di quanta comunità hanno bisogno le società complesse?*, Loredana Sciolla – I Mercoledì dell'Accademia, 5 febbraio, ore 17.00.

Il Segretario
Daniele Castelli

Il Direttore
Amalia Bosia

Adunanza del 12 febbraio 2020

Presidenza della Prof.ssa Amalia Bosia
Direttrice della Classe

Sono presenti i Soci nazionali residenti: Anselmino, Bonfante, Bosia, Bottino, Carpinteri, Civalleri, Chiorino, Coluccia, Compagnoni, Conte, Ferrari, Genta, Lolli, Marzari Chiesa, Meo, Mezzalama, Pastrone, Piazza, Ronchi Della Rocca, Sacchi, Zecchina, Zich; il Socio nazionale non residente: Cinquini; i Soci corrispondenti: Arzarello, Barasa, Biglieri, Dagnino, Diaferio, Gambino, Giacardi, Lovisolo, Marro, Panella, Piana, Venturello.

1. Comunicazioni

Il Socio Piazza comunica che la Socia Bonfante è stata designata dall'Accademia dei Lincei come membro del Consiglio Generale della Compagnia di San Paolo.

2. Approvazione del verbale della seduta precedente

Il verbale della seduta del 15 gennaio 2020 viene approvato all'unanimità, con l'astensione dei Soci assenti a tale seduta.

3. Presentazione da parte del Socio Sacchi del volume di Giancarlo Genta e Paolo Riberi, «Oltre l'orizzonte. Dalle caverne allo spazio: come la tecnologia ci ha resi umani» (Lindau, 2019), con la presenza degli autori

Il Socio Sacchi illustra brevemente il testo, che si pone lo scopo di analizzare le radici filosofiche e culturali della tecnologia, con particolare attenzione al peso del fattore economico nello sviluppo tecnologico. Il testo parte dalla preistoria per arrivare fino ai nostri giorni, con particolare attenzione a due periodi cruciali, secondo gli autori: l'età ellenistica e il medioevo. Il Socio Sacchi ne dà un giudizio positivo, pur nella differenza tra la sua visione laica e illuminista e la visione cattolica degli autori. Intervengono poi gli autori: il Socio Genta e Paolo Riberi, che si è recentemente laureato in Filologia e Letterature dell'Antichità presso l'Università di Torino, dopo studi di Economia. Gli autori, aiutandosi con *slides*, illustrano ulteriormente il loro testo. In particolare la loro tesi di fondo è che per lo sviluppo tecnologico abbia giocato un ruolo decisivo l'incontro tra filosofia greca e razionalismo

spirituale giudaico-cristiano, verificatosi nel medioevo europeo. A dispetto dei luoghi comuni, gli autori sostengono che il progresso tecnologico abbia iniziato allora ad accelerare fino alla velocità vertiginosa dei nostri giorni. La loro visione è sostanzialmente ottimista riguardo a un continuo sviluppo tecnologico, che ci porterà nel futuro a trovare nello spazio le materie prime di cui abbiamo bisogno.

La presentazione è seguita da una ricca discussione. In particolare il Socio Zecchina difende l'alchimia come protochimica, in contrapposizione a una visione di questa più legata alla magia. Il Socio Coluccia contesta l'ottimismo del finale del libro, dove i viaggi nello spazio sono presentati come risolutivi della carenza di materie prime sulla terra. A queste e altre osservazioni gli autori rispondono sostenendo le loro tesi.

4. *Designazioni per i premi Balzan e il premio Jeantet*

La Direttrice ricorda le scadenze dei due bandi: 15 marzo per i Premi Balzan e 24 febbraio per il Premio Jeantet. Le proposte dovranno essere trasmesse alla Presidenza entro il 17 febbraio per il premio Jeantet e il 2 marzo per i premi Balzan, per consentire di predisporre la proposta ufficiale a firma del Presidente. Inoltre ricorda che il bando del Premio Jeantet, che originariamente e nei bandi precedenti era ristretto a tematiche di ricerca biomedica e medico-clinica, quest'anno viene esteso a ricerche che riguardino patologie animali o vegetali, la cui rilevanza sia tale perché queste possono mettere in parte in pericolo la sopravvivenza dell'umanità.

5. *Omaggi*

Il Socio Genta e Paolo Riberi danno in omaggio il loro libro *Oltre l'orizzonte. Dalle caverne allo spazio: come la tecnologia ci ha resi umani*.

6. *Varie ed eventuali*

La Direttrice ricorda i prossimi appuntamenti:

- 18 febbraio, alle 16.00: Guido Forni, *Vaccini, vascello dell'intelligenza umana nella bufera del sospetto*, Scienze&Salute.
- 19 febbraio, alle 17.00: Lucia Caporaso, *Varietà di varietà: la classificazione nella geometria algebrica*, I Mercoledì dell'Accademia.
- 26 febbraio, alle 17.00: Bruno Contini, *Perché è così difficile fare funzionare il mercato del lavoro*, I Mercoledì dell'Accademia.

- 3 marzo, alle 16.00: Massimiliano Massaia, *La demenza: differenze di genere, prevenzione e cura*, Scienze&Salute.
- 4 marzo, alle 17.00: Maria Gabriella Forno, *Quando a Torino non vi era ancora il Po*, I Mercoledì dell'Accademia.
- 9 marzo, alle 15.00: *I problemi dell'economia oggi*, con Mario Deaglio e Roberto Marchionatti (Accademia delle Scienze) e Marco Zatterin (La Stampa), prima conferenze del ciclo in collaborazione con l'ordine dei giornalisti.

Il Segretario f.f.
Simonetta Ronchi Della Rocca

Il Direttore
Amalia Bosia

INDICI

INDICE ANALITICO

Accademia dei Lincei: convegno su L.L. Cavalli Sforza organizzato congiuntamente con l'Accademia delle Scienze *Cl.F.* 18/12/19; premi banditi *Cl.F.* 18/12/19

Accademia di Medicina: ciclo «Scienze & Salute» (organizzato congiuntamente con l'Accademia delle Scienze) *Cl.U.* 19/10/20; conferenza su: *È possibile invecchiare senza invecchiare?*, *Cl.F.* 15/1/20

Allea: Proposte per l'«All European Academies Madame de Staël Prize for Cultural Values» *Cl.F.* 18/12/19, *Cl.F.* 15/1/20; pubblicazione degli atti del convegno torinese *Cl.U.* 19/10/20

Andretta *Cl.F.* 15/1/20

Archivio: approvazione del nuovo regolamento per l'accesso ai servizi erogati *Cl.U.* 19/10/20; catalogazione dei fondi Millon e Galletto *Cl.U.* 19/10/20; proposta di istituire una borsa di studio *Cl.U.* 19/10/20

Arzarelo *Cl.F.* 18/12/19, 12/2/20

Bagnasco *Cl.U.* 30/4/20

Ballesio Cinzia *Cl.F.* 20/11/19

Barasa *Cl.F.* 15/1/20, 12/2/20

Barla è data la luttuosa notizia della sua scomparsa *Cl.F.* 20/11/19

Barone V.C. esce il quaderno *Il valore della fisica. Enrico Persico (1900-1969)* di cui è co-curatore, *Cl.U.* 19/10/20

Benenti *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 15/1/20; presenta la nota «Il teorema di Fermat apparteneva al suo secolo» *Cl.F.* 18/12/19; nell'ambito del dibattito sulle modalità di discussione scientifica propone temi di interesse per entrambe le classi *Cl.F.* 15/1/20; esce il vol. 42-43 delle «Memorie della Classe di Scienze fisiche» (2018-2019) di cui è unico Autore *Cl.U.* 19/10/20

Benfenati Fabio *Cl.U.* 19/10/20

Bianucci Piero *Cl.F.* 15/1/20

Biblioteca: messa online degli «Atti» e delle «Memorie» *Cl.U.* 19/10/20; contaminazione fungina dei libri collocati nei depositi interrati *Cl.U.* 19/10/20

Bilanci: presentazione, discussione e approvazione del bilancio consuntivo dell'esercizio 2019 e dei

Sono indicizzati i verbali delle adunanze delle Classi Unite e delle adunanze scientifiche della Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali pubblicati in questo volume. In nero, senza il prenome, sono riportati i Soci dell'Accademia, con la sola esclusione dei Soci storici

Abbreviazioni: *Cl.F.*: *adunanza scientifica della Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali*; *Cl.U.*: *adunanza delle Classi Unite*.

bilanci dei premi a esso allegati *Cl.U.* 30/4/20; presentazione, discussione e approvazione del bilancio preventivo dell'esercizio 2021 e dei bilanci dei premi ad esso allegati *Cl.U.* 19/10/20

Bonfante *Cl.F.* 18/12/19, 15/1/20, 12/2/20, 30/4/20; è designata dall'Accademia dei Lincei come membro del Consiglio Generale della Compagnia di San Paolo *Cl.F.* 12/2/20; nell'ambito del dibattito sulle modalità di discussione scientifica propone conferenze sulla politica energetica europea *Cl.F.* 15/1/20

Bosia *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20; presiede le adunanze *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 15/1/20, 12/2/20; introduce un dibattito sulle modalità di discussione scientifica all'interno della Classe *Cl.F.* 15/1/20

Bottino *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 15/1/20, 12/2/20

Calcatelli Anita *Cl.U.* 19/10/20

Calderale *Cl.F.* 15/1/20

Cali avanza una proposta sui problemi della crisi energetica *Cl.U.* 19/10/20

Cambiano *Cl.U.* 30/4/20

Caporaso tiene la conferenza dei Mercoledì «Varietà di varietà: la classificazione nella geometria algebrica» *Cl.F.* 18/12/19

Cappellato Valeria *Cl.F.* 15/1/20

Carpinteri *Cl.F.* 20/11/19, 15/1/20, 12/2/20

Carrera *Cl.F.* 18/12/19

Castelli *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20; *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 15/1/20

Cavalli avanza una proposta sui problemi della crisi energetica *Cl.U.* 19/10/20

Cavalli-Sforza L.L., convegno su «L'eredità scientifica e culturale di Luca L. Cavalli-Sforza» *Cl.F.* 18/12/19, *Cl.F.* 15/1/20

Chiorino *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 15/1/20, 12/2/20; propone di celebrare i 150 anni del Traforo del Fréjus con un convegno *Cl.F.* 20/11/19

Cicli di conferenze: celebrazioni dantesche (programma ridotto) *Cl.U.* 19/10/20; «Scienze&Salute. Longevità e senescenza: come invecchiare in salute» *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 19/10/20; in collaborazione con l'Ordine dei giornalisti (posticipato) *Cl.U.* 19/10/20; «I Beni culturali tra valorizzazione, restauro e conservazione» *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19

Cinquini *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20; *Cl.F.* 15/1/20, 12/2/20

Civalleri *Cl.U.* 19/10/20; *Cl.F.* 20/11/19, 15/1/20, 12/2/20

Collegio dei Revisori dei Conti *Cl.U.* 30/4/20

Coluccia *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20

Commemorazioni tenute nell'a.a.: il Socio Ferraris commemora il Socio Rigault *Cl.F.* 20/11/19; il Socio Gliozzi commemora il Socio Rindler *Cl.F.* 15/1/20; il Socio Sergi commemora il Socio Fissore *c.M.* 11/2/20

Commissioni: consultive *Cl.U.* 19/10/20; Commissione Ambiente (proposta dei soci Cavalli e Cali) *Cl.U.* 19/10/20

Compagnoni *Cl.U.* 19/10/20; *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 15/1/20, 12/2/20

Conte A. *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20; *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 15/1/20, 12/2/20; esce il quaderno «Alessandro

- Terracini (1889-1968) a 150 dalla morte» di cui è co-curatore *Cl.U.* 19/10/20
- Conti** *Cl.F.* 18/12/19
- Contini** *Cl.U.* 30/4/20
- Convegni:** convegno dedicato a Pietro Chiodi *Cl.U.* 19/10/20; convegno per il centesimo anniversario della morte di Max Weber (sospeso) *Cl.U.* 19/10/20; «L'eredità scientifica e culturale del genetista L.L. Cavalli Sforza» *Cl.F.* 15/1/20
- Cottino** *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20
- Covid-19: sospensione di convegni e attività programmate *Cl.U.* 19/10/20
- Dal Piaz** *Cl.U.* 30/4/20; è tra i promotori di una iniziativa per celebrare i 150 anni del Traforo del Fréjus *Cl.F.* 20/11/19
- Diaferio** *Cl.F.* 15/1/20, 12/2/20
- Di Benedetto** *Cl.U.* 30/4/20
- Dogliani** *Cl.U.* 19/10/20
- Doglio** *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20
- Ferrari** *Cl.F.* 20/11/19, 15/1/20, 12/2/20, *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20
- Ferraris** *Cl.U.* 30/4/20, *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 15/1/20; commemora il Socio Rigault *Cl.F.* 20/11/19; tiene a conferenza dal titolo «Cristalli misti vs. pesi atomici e tavola periodica degli elementi» *Cl.F.* 18/12/19
- Filippi** *Cl.F.* 18/12/19, 15/1/20; propone il prolungamento del ciclo dedicato alla conservazione, valorizzazione e restauro dei beni culturali *Cl.F.* 15/1/20
- Filoramo** *Cl.U.* 19/10/20
- Finanziamenti:** MIUR e MIBACT *Cl.U.* 19/10/20
- Finazzi Giovanni *Cl.F.* 15/1/20
- Firpo** *Cl.U.* 30/4/20
- Fondazione Sella *Cl.F.* 18/12/19
- Forno** *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 12/2/20; tiene la conferenza dei Mercoledì «Quando a Torino non vi era ancora il Po» *Cl.F.* 18/12/19
- Fubini** *Cl.F.* 15/1/20
- Genta** *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20; *Cl.F.* 20/11/19, 15/1/20, 12/2/20, il Socio Sacchi presenta un volume del Socio Genta *Cl.F.* 12/2/20
- Germano** *Cl.F.* 18/12/19, 15/1/20
- Giacardi** *Cl.F.* 18/12/19, 15/1/20, 12/2/20; esce il quaderno «Alessandro Terracini (1889-1968) a cinquant'anni dalla morte» di cui è co-curatrice *Cl.U.* 19/10/20
- Gianotti** *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20
- Giordano Giovanna *Cl.F.* 20/11/19
- Giozzi** commemora il Socio Rindler *Cl.F.* 15/1/20
- Goria** *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20
- Hamilton Margaret *Cl.F.* 20/11/19
- Isaia Giancarlo *Cl.F.* 15/1/20
- Keller Mary *Cl.F.* 20/11/19
- Lamarr Hedi *Cl.F.* 20/11/19
- Lolli** *Cl.U.* 19/10/20; *Cl.F.* 20/11/19, 12/2/20
- Lovelace Ada *Cl.F.* 20/11/19
- Lovisolo** *Cl.U.* 19/10/20; *Cl.F.* 18/12/19, 15/1/20, 12/2/20
- Marazzini** *Cl.U.* 19/10/20
- Marchionatti** *Cl.F.* 12/2/20; *Cl.U.* 19/10/20
- Marro** *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 15/1/20, 12/2/20
- Martin Francis *Cl.U.* 19/10/20
- Marzari Chiesa** *Cl.U.* 19/10/20
- Meo** *Cl.F.* 20/11/19, 15/1/20, 12/2/20; *Cl.U.* 30/4/20; propone con il So-

cio Mezzalama una iniziativa sul *machine learning* *Cl.F.* 15/1/20
 Mercoledì dell'Accademia *Cl.F.* 18/12/19, 15/1/20, 12/2/20

Mercuri Eugenia *Cl.F.* 15/1/20

Mezzalama *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20; *Cl.F.* 20/11/19, 15/1/20, 12/2/20; propone con il Socio Meo una iniziativa sul *machine learning* *Cl.F.* 15/1/20

Mikelič Andro *Cl.U.* 19/10/20

Minero *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 15/1/20

Mori *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20, *Cl.F.* 18/12/19

Mortara Garavelli *Cl.U.* 30/4/20

Murray Hopper Grace *Cl.F.* 20/11/19

Oberti *Cl.U.* 30/4/20

Omaggi: il Socio Genta e P. Riberi danno in omaggio il volume *Oltre l'orizzonte. Dalle caverne allo spazio: come la tecnologia ci ha resi umani*, di cui sono Autori *Cl.F.* 12/2/20; C. Ballesio e G. Giordano donano il volume *L'informatica al femminile*, di cui sono Autrici *Cl.F.* 20/11/19

Onorato *Cl.F.* 20/11/19

Palmieri *Cl.F.* 15/1/20; propone l'organizzazione di una conferenza su *Intracellular transport of proteins and their import into mitochondria* (Prof. Pfanner) e su *Energetic coupling between plastids and mitochondria in diatoms* (Prof. Finazzi) *Cl.F.* 15/1/20

Pandolfi *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20; *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 15/1/20

Panella *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 15/1/20, 12/2/20; tiene la conferenza dei Mercoledì «L'energia nucleare nel contesto energetico» *Cl.F.* 18/12/19, 15/1/20

Pastrone F. *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20; *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 15/1/20, 12/2/20

Pavia *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 15/1/20

Pelizza *Cl.F.* 20/11/19, 15/1/20; è tra i promotori del convegno per i 150 anni del Traforo del Fréjus *Cl.F.* 20/11/19

Pene Vidari *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20

Peroni *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19

Pestelli *Cl.U.* 30/4/20

Pezzoli commemorazione da programmare *Cl.F.* 20/11/19

Pfanner Nikolaus *Cl.F.* 15/1/20

Piana *Cl.F.* 20/11/19, 12/2/20

Piazza *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20; *Cl.F.* 18/12/19, 15/1/20, 12/2/20

Predazzi *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19

Premi: Premi erogati dall'Accademia (2020): approvazione delle relazioni delle Commissioni giudicatrici dei Premi Gili Agostinelli, Panetti Ferrari, Martinetto *Cl.U.* 19/10/20; Commissione consultiva dei Premi *Cl.U.* 19/10/20; premi da bandire per il 2021 *Cl.U.* 19/10/20; verbale della commissione Premi *Cl.U.* 19/10/20; premi assegnati dall'Accademia (2020): Herlitzka *Cl.U.* 19/10/20; Premio Burzio *Cl.U.* 19/10/20; Premi Balzan *Cl.F.* 15/1/20, 12/2/20; Premio Jeantet *Cl.F.* 15/1/20, 12/2/20; Staël, Madame de: *Cl.F.* 15/1/20; 18/12/19

Pubblicazioni: ultimi volumi usciti *Cl.U.* 19/10/20; messa online degli «Atti» e delle «Memorie» *Cl.U.* 19/10/20

Regione Piemonte (tabella triennale 2021-2023) *Cl.U.* 19/10/20

Remotti *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20

Revisori dei Conti, Collegio dei *Cl.U.* 30/4/20

Riberi Paolo *Cl.F.* 12/2/20

Rigault de la Longrais annuncio della scomparsa *Cl.F.* 20/11/19

Rindler annuncio della scomparsa *Cl.F.* 20/11/19

Roccati *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20; tiene la conferenza dei Mercoledì «In Egitto duecento anni fa: Drovetti e Vidua alle origini del Museo egiziano» *Cl.F.* 18/12/19

Rodino *Cl.F.* 15/1/20

Ronchi della Rocca *Cl.U.* 30/4/20; *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19, 12/2/20, presenta il volume di C. Ballesio e G. Giordano, *L'informatica al femminile. Storie sconosciute di donne che hanno cambiato il mondo* *Cl.F.* 20/11/19; tiene la conferenza dei Mercoledì «Problemi facili, difficili, impossibili» *Cl.F.* 18/12/19

Rossi P. *Cl.U.* 19/10/20

Ruffinatto *Cl.U.* 30/4/20

Sacchi *Cl.F.* 18/12/19, 15/1/20, 12/2/20;

presenta un volume di G. Genta e P. Riberi, *Cl.F.* 12/2/20

Salvadori *Cl.U.* 30/4/20, 19/10/20

Salvadori (Luigi) Socio scomparso *Cl.F.* 20/11/19

Sella *Cl.F.* 20/11/19, 15/1/20; è tra i promotori del convegno per i 150 anni del Traforo del Fréjus *Cl.F.* 20/11/19

Serianni *Cl.U.* 30/4/20

Società Europea di Filosofia della Scienza *Cl.F.* 15/1/20

Tealdi Elisa *Cl.U.* 19/10/20

Valabrega *Cl.F.* 20/11/19, 15/1/20

Vellano *Cl.F.* 20/11/19, 18/12/19

Venturello *Cl.F.* 18/12/19, 12/2/20

Zambonini Ferruccio *Cl.F.* 18/12/19

Zecchina *Cl.U.* 19/10/20; *Cl.F.* 15/1/20, 12/2/20; propone due temi interdisciplinari, da sviluppare/articolare nel programma triennale *Cl.F.* 15/1/20

Zich *Cl.U.* 19/10/20; *Cl.F.* 18/12/19, 15/1/20, 12/2/20

Zunino *Cl.U.* 19/10/20

INDICE DEL VOLUME 154
(a.a. 2019-2020)

ADUNANZA SOLENNE

<i>Relazione sulla attività accademica</i> , di Massimo Mori.	7
<i>The Role of Engineering in the Conservation of the Architectural Heritage</i> , prolusione di Mario Alberto Chiorino	15

COMMEMORAZIONI DI ACCADEMICI

<i>Germano Rigault de la Longrais (1930-2018)</i> , di Giovanni Ferraris. . .	61
<i>Wolfgang Rindler (1924-2019)</i> , di Ferdinando Gliozzi	69
<i>Luigi Salvadori (1925-2019)</i> , di Luigi Giacomo Rodino	75
<i>Giannantonio Pezzoli (1927-2019)</i> , di Luca Ridolfi.	79
<i>Giovanni Barla (1940-2019)</i> , di Sebastiano Pelizza.	81
<i>Emiliano Bruno (1938-2020)</i> , di Fabrizio Nestola e Piera Benna	91
<i>Emilio Chiavassa (1936-2020)</i> , di Ermanno Vercellin.	99
<i>Attilio Boriani (1936-2020)</i> , di Valeria Caironi e Stefano Poli.	107
<i>Nicolò d'Amico (1953-2020)</i> , di Attilio Ferrari	111

GIORNATE DI STUDIO

GIUSEPPE LEVI MAESTRO DI NOBEL E SCIENZIATO

<i>Premessa</i> , di Alberto Piazza	119
<i>Giuseppe Levi e l'Accademia di Medicina di Torino</i> , di Giancarlo Isaia	121
<i>Le scoperte di Giuseppe Levi a Torino</i> , di Alessandro Vercelli	125
<i>Giuseppe Levi e i gangli cerebro-spinali</i> , di Marco Piccolino e Antonio Barasa.	137
<i>La scuola torinese: Rita Levi-Montalcini</i> , di Antonino Cattaneo	161
<i>Salvador Luria e la scuola nordamericana di Giuseppe Levi</i> , di Andrea Grignolio	175

CENNI SULLE ADUNANZE

Adunanze delle Classi Unite

Adunanza del 30 aprile 2020	215
Adunanza del 19 ottobre 2020	217

Adunanze della Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali

Adunanza del 20 novembre 2019	223
Adunanza del 18 dicembre 2019	226
Adunanza del 15 gennaio 2020	229
Adunanza del 12 febbraio 2020	233
Indice analitico	239

Anno di fondazione della rivista 1865
Direttore responsabile: Massimo Mori
Autorizzazione del Tribunale di Torino n. 1995 del 7/03/1969
Iscrizione al R.O.C. n. 2037 del 30/06/2001
Finito di stampare nel mese di giugno 2022
da L'Artistica Savigliano s.r.l.